

Christoph Herden, Jörg Rasmus und
Bahram Gharadjedaghi

Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen



Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandphotovoltaikanlagen

- Endbericht -

Stand Januar 2006

**Christoph Herden
Bahram Gharadjedaghi
Jörg Rasmus**

unter Mitwirkung von

**Stefan Gödderz
Sigrun Geiger
Stefan Jansen**



Titelbilder:

Oben links: Solarpark Gut Erlasee (Landkreis Main-Spessart) (Foto: SOLON AG)

Mitte links: Solarpark Ornatsöd (Landkreis Passau) (Foto: U. Martin)

Unten links: Solarwald Kleinwulkow (Landkreis Jerichower Land) (Foto: S. Jansen)

Oben rechts: Bürgersolarpark Neuenmarkt (Landkreis Kulmbach) (Foto: B. Gharadjedaghi)

Mitte rechts: Solarpark Hemau (Landkreis Reensburg) (Foto: B. Gharadjedaghi)

Unten rechts: Solarpark Mühlhausen (Landkreis Neumarkt/Opf.) (Foto: K&S Unternehmensgruppe)

Adressen der Autoren/Autorinnen/Bearbeiterinnen/Bearbeiter:

Christoph Herden GFN - Gesellschaft für
Jörg Rasmus Freilandökologie
Stefan Gödderz und Naturschutzplanung mbH
Sigrun Geiger Adolfplatz 8
 24105 Kiel

Bahram GFN-Umweltplanung
Gharadjedaghi Gharadjedaghi & Mitarbeiter
 Richard-Wagner-Str. 15
 95444 Bayreuth

Stefan Jansen GFN - Jansen & Partner,
 Wittenberge

Projektleitung: Christoph Herden

Projektleitung im Kathrin Ammermann
BfN: Fachgebiet II 3.3/KEN „Erneuerbare Energien, Berg- und Bodenabbau/
 Kompetenzzentrum für Erneuerbare Energien“

Das Projekt wurde gefördert vom Bundesamt für Naturschutz, Forschungskennziffer: 805 82 027

Das Skript steht zum kostenlosen Download unter
http://www.gfn-umwelt.de/Endbericht_final_15_01_07.pdf
oder
http://www.bfn.de/0502_skriptliste.html?&no_cache=1

Die Beiträge der Skripten werden aufgenommen in die Literaturdatenbank „**DNL-online**“ (www.dnl-online.de).

Die BfN-Skripten sind nicht im Buchhandel erhältlich.

Herausgeber: Bundesamt für Naturschutz
Konstantinstr. 110
53179 Bonn
Telefon: 0228/8491-0
Fax: 0228/8491-9999
URL: www.bfn.de

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die in den Beiträgen geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Nachdruck, auch in Auszügen, nur mit Genehmigung des BfN.

Druck: BMU-Druckerei

Gedruckt auf 100% Altpapier

Bonn – Bad Godesberg 2009

Vorwort

Mit der Novellierung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im August 2004 (bzw. dem sog. Vorschaltgesetz) wurde die Installation von Photovoltaikanlagen auch auf bestimmten Freiflächen ermöglicht.

Die Gewinnung erneuerbarer Energie aus diesen Anlagen war bis dahin für Naturschutz und Landschaftspflege nahezu unbedeutend, da Photovoltaikanlagen insbesondere auf Dächern im bebauten Bereich installiert wurden. Seit 2004 nehmen die Bedeutung dieses Energieträgers und dessen Anlagengröße bzw. der davon beanspruchten Flächen stetig zu. Da auf Naturschutzseite bislang wenige Kenntnisse über die möglichen Auswirkungen dieses neuen Vorhabentyps vorlagen, wurde das Forschungs- und Entwicklungs-Vorhaben „Naturschutzfachliche Bewertungsmethoden von Freilandfotovoltaikanlagen“ initiiert.

Ziel des Vorhabens war es einen Überblick zu möglichen Auswirkungen der Photovoltaik-Freiflächenanlagen (PV-FFA) auf Naturhaushalt und Landschaftsbild zu erhalten. Darüber hinaus sollten der Umfang von Auswirkungen auf bestimmte Lebensräume und Artengruppen sowie auf das Landschaftsbild ermittelt und Anknüpfungspunkte für weiteres naturschutzfachliches Handeln aufgezeigt werden.

Dem vorliegenden Bericht liegen Praxisuntersuchungen an sechs ausgewählten Solar-Standorten zugrunde, an denen die Auswirkungen von PV-FFA auf Vögel, Wirbellose, Klein- und Mittelsäuger, auf die Vegetation und auf das Landschaftsbild ermittelt wurden. Die Ergebnisse ermöglichen eine bessere Einschätzung der Auswirkungen von Photovoltaik-Freiflächenanlagen. Gleichzeitig wurden auch Hinweise zur räumlichen Steuerung sowie zur Minimierung bzw. zur Kompensation entstehender Auswirkungen abgeleitet.

Wir hoffen mit dem vorliegenden Bericht einen Beitrag zum naturschutzverträglichen Ausbau dieser Energiegewinnungsform, insbesondere auch für die an den Genehmigungsverfahren beteiligten Fachbehörden und –planer zu leisten.

Prof. Dr. Beate Jessel
Präsidentin des Bundesamtes für Naturschutz



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
1.1	Hintergründe und Zielsetzungen dieses F+E-Vorhabens	1
2	Allgemeine Grundlagen	3
2.1	Stand der PV-Freiflächennutzung in Deutschland	3
2.1.1	<i>Modultechnik</i>	4
2.1.2	<i>Regionale Schwerpunkte</i>	4
2.1.3	<i>Vornutzung der Standorte der PV-FFA</i>	5
2.2	Übersicht der naturschutzrelevanten Regelungen des EEG zur Photovoltaiknutzung	7
2.3	Allgemeine Merkmale von PV-FFA	8
2.4	Flächenumwandlung/-inanspruchnahme durch PV-FFA.....	9
2.4.1	<i>Flächenbedarf für Module und infrastrukturelle Einrichtungen</i>	9
2.4.2	<i>Änderung der Landnutzung</i>	13
	Versiegelte Flächen	14
	Nutzung als Grünflächen bei Vornutzung Acker	14
	Vornutzung Konversionsstandort	14
3	Charakterisierung einzelner Wirkfaktoren von PV-FFA	17
3.1	Übersicht	17
3.2	Versiegelungen	19
3.3	Bodenumlagerung und Verdichtung	19
3.4	Überschirmung von Böden.....	20
3.4.1	<i>Beschattung</i>	20
3.4.2	<i>Veränderung der Niederschläge bzw. des Bodenwasserhaushalts</i>	20
3.4.3	<i>Erosion</i>	21
3.5	Barrieren	21
3.5.1	<i>Abzäunung</i>	21
3.5.2	<i>Unterbrechung von Wegenetzen</i>	21
3.6	Stoffliche Emissionen	22
3.6.1	<i>Baubedingte stoffliche Emissionen</i>	22
3.6.2	<i>Anlage- und betriebsbedingte stoffliche Emissionen</i>	22
3.7	Visuelle Wirkungen.....	23
	Konturen der Anlage	23
	Lichtreflexe.....	24
	Spiegelung	25
	Änderungen des Spektralverhaltens oder der Polarisation des Lichtes	26
	Künstliche Lichtquellen	26
3.8	Erwärmung von Modulen und Kabeln	27
3.9	Schallemissionen	27
3.10	Elektrische und magnetische Felder	28
4	Naturschutzrechtliche Rahmenbedingungen	29
4.1	Eingriffsregelung	29
4.1.1	<i>Eingriffsdefinition</i>	29
4.1.2	<i>Vermeidungs- und Minimierungsgebot, Kompensation</i>	29
4.1.3	<i>Wirkungsprognosen in der Eingriffsregelung</i>	30



4.2	Umweltverträglichkeitsprüfung.....	32
4.3	Artenschutzrecht.....	32
4.4	Natura 2000.....	33
4.5	Umweltprüfung.....	34
5	Auswertung vorhandener Planungen	35
5.1	Zielsetzung	35
5.2	Material.....	36
5.3	Qualität der Wirkungsprognosen	36
5.4	Festgesetzte Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen.....	38
5.5	Festgesetzte Kompensationsmaßnahmen	39
5.6	Fazit.....	39
6	Praxisuntersuchungen.....	41
6.1	Fachlicher Hintergrund der Praxisuntersuchungen	41
6.2	Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsgebiete.....	41
6.3	Ausgewählte Untersuchungsgebiete	43
6.3.1	<i>Kurzcharakteristik der Untersuchungsgebiete</i>	<i>43</i>
6.4	Praxisuntersuchungen zu Pflanzen und Tieren	45
6.4.1	<i>Übersicht der durchgeführten Praxisuntersuchungen</i>	<i>45</i>
6.4.2	<i>Methodik der Praxisuntersuchungen</i>	<i>45</i>
	Flora/Vegetation.....	45
	Heuschrecken	46
	Säugetiere.....	46
	Vögel.....	47
	Folienfang von Insekten.....	47
	<i>Aufgetretene methodische Probleme.....</i>	<i>50</i>
6.4.3	<i>Ergebnisse der Praxisuntersuchungen.....</i>	<i>52</i>
	Flora/Vegetation.....	52
	Heuschrecken	54
	Säugetiere.....	57
	Vögel.....	59
	Folienfang von Insekten.....	66
	<i>Auswertung nach systematischen Taxa.....</i>	<i>66</i>
	<i>Auswertung nach ökologischen Gilden</i>	<i>67</i>
	<i>Hinweise zur Phänologie.....</i>	<i>76</i>
6.4.4	<i>Diskussion der Praxisuntersuchungen.....</i>	<i>77</i>
	Flora/Vegetation.....	77
	Heuschrecken	78
	Säugetiere.....	79
	Vögel.....	81
	<i>Irritationswirkung/Kollision.....</i>	<i>81</i>
	<i>Flächeninanspruchnahme.....</i>	<i>82</i>
	<i>Stör- und Scheuchwirkungen in angrenzenden Lebensräumen.....</i>	<i>83</i>
	Folienfang von Insekten.....	83
	<i>Sind die Fangergebnisse an Folien auf die PV-Module übertragbar ?.....</i>	<i>84</i>
	<i>Wie sind die Ergebnisse an der Referenzfläche einzuschätzen?.....</i>	<i>85</i>
	<i>Gibt es eine Attraktionswirkung und worauf beruht diese ?</i>	<i>86</i>
	<i>Wie ist die Attraktionswirkung der PV-Module naturschutzfachlich zu bewerten?</i>	<i>87</i>
6.5	Praxisuntersuchungen zum Landschaftsbild	89
6.5.1	<i>Fragestellung und Untersuchungsumfang</i>	<i>89</i>



6.5.2	<i>Methode</i>	89
6.5.3	<i>Ergebnisse</i>	91
	Solarpark Erlasee.....	91
	<i>Landschaftsraum</i>	91
	<i>Sichtraum</i>	91
	<i>Beobachtungspunkte</i>	93
	<i>Bewertung der Landschaftsbildveränderung</i>	99
	Solarpark Markstetten.....	100
	<i>Landschaftsraum</i>	100
	<i>Sichtraum</i>	100
	<i>Beobachtungspunkte</i>	101
	<i>Bewertung der Landschaftsbildveränderung</i>	105
	Solarpark Mühlhausen.....	106
	<i>Landschaftsraum</i>	106
	<i>Sichtraum</i>	106
	<i>Beobachtungspunkte</i>	108
	<i>Bewertung der Landschaftsbildveränderung</i>	113
	Übersicht der Ergebnisse der Landschaftsbilduntersuchungen.....	114
7	Wirkungsprognosen für Tiere und Pflanzen	115
7.1	Auswirkungen von PV-FFA durch die Veränderung abiotischer Standortfaktoren.....	115
7.1.1	<i>Auswirkungen durch die Veränderung des Untergrunds</i>	115
7.1.2	<i>Auswirkungen durch ein verändertes Nutzungsregime</i>	117
	Vornutzung Acker.....	117
	Konversionsstandorte.....	119
	Versiegelte Flächen.....	120
7.1.3	<i>Auswirkung durch die Überschirmung von Tier- und Pflanzenlebensräumen durch Module</i>	120
	Auswirkungen durch die Beschattung.....	120
	Auswirkungen durch die Veränderung des Niederschlagsregimes bzw. des Bodenwasserhaushaltes.....	122
	Auswirkungen durch Erosion.....	122
7.2	Auswirkungen von PV-FFA durch Barrierewirkungen oder als vertikales Hindernis.....	123
7.2.1	<i>Barrierewirkung und Meidung durch Tiere</i>	123
7.2.2	<i>Vertikales Hindernis (Kollisionsrisiko)</i>	123
7.3	Auswirkungen von PV-FFA durch visuelle Wirkungen.....	124
7.3.1	<i>Wirkfaktor Silhouetteneffekt und Wahrnehmbarkeit der Module</i>	124
7.3.2	<i>Wirkfaktor Reflexion: Blendwirkung</i>	125
7.3.3	<i>Wirkfaktor Reflexion: Lichtspektrum und -polarität</i>	126
7.3.4	<i>Wirkfaktor Spiegelung</i>	129
7.4	Auswirkungen durch sonstige nichtstoffliche Emissionen.....	130
7.4.1	<i>Auswirkungen durch Schallemissionen</i>	130
7.4.2	<i>Auswirkungen durch elektrische oder magnetische Felder</i>	130
8	Wirkungsprognosen für das Landschaftsbild	131
8.1	Erkennbarkeit von auffälligen Einzelobjekten und Anlagenteilen.....	132
8.2	Anteil der Anlage im Blickfeld.....	133
8.3	Einfluss teilweiser Sichtverschattungen.....	133
8.4	Lage zur Horizontlinie.....	134
8.5	Intensität der Überprägung des Landschaftsbildes durch PV-FFA.....	134



9	Empfehlungen für die Planungspraxis	135
9.1	Arbeitsschritte zur Ermittlung und Bewertung erheblicher Auswirkungen	135
9.1.1	<i>Schutzgutbezogene Untersuchungen im Vorfeld der Planung.....</i>	<i>135</i>
	Hinweise für geeignete Voruntersuchungen bei weitgehend unversiegelten Flächen (Acker- oder viele Konversionsflächen).....	135
	Hinweise für geeignete Voruntersuchungen auf versiegelten Flächen	137
9.1.2	<i>Hinweise zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen</i>	<i>137</i>
	Standortwahl	137
	Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen für Arten und Biotope	137
	Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes	139
	<i>Begrenzung des Sichttraums durch Abpflanzung</i>	<i>139</i>
	<i>Begrenzung des Sichttraums durch Standortwahl</i>	<i>140</i>
	<i>Erhaltung von sichtverschattenden Objekten.....</i>	<i>142</i>
	<i>Konstruktive Maßnahmen</i>	<i>142</i>
	<i>Inanspruchnahme landschaftsästhetisch vorbelasteter Landschaften</i>	<i>142</i>
9.1.3	<i>Hinweise zur Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen</i>	<i>142</i>
	Vorbemerkung	142
	Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen	143
	Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes	145
9.2	Effizienzkontrollen und Monitoring.....	145
9.3	Hinweise zum Rückbau und Entsorgung.....	146
10	Kenntnislücken und Forschungsbedarf	149
10.1	Zukunft der PV-Freiflächenanlagen in Deutschland	149
10.2	Technische Weiterentwicklung	149
10.3	Wirkungsprognosen zu einzelnen Wirkfaktoren	150
10.3.1	<i>Kenntnislücken zu Wirkfaktoren.....</i>	<i>150</i>
	Bestimmung der Polarisation und des Spektralverhalten des von PV-Modulen reflektierten Lichtes.....	150
10.3.2	<i>Kenntnislücken zur Wirkung bestimmter Wirkfaktoren auf einzelne Schutzgüter.....</i>	<i>150</i>
	Lockwirkung der Module auf Tiere	150
	Mindestabstände zu PV-Modulen von Rast- und Brutvögeln im Offenland.....	151
	Langfristige Entwicklung der Vegetation und der Lebensgemeinschaften	151
	Wartungsbedarf der PV-FFA.....	151
	Auswirkungen von PV-FFA auf das Landschaftsbild bei besonderen Reliefverhältnissen.....	152
11	Zusammenfassung	153
	Hintergrund und Zielsetzung des F+E-Vorhabens	153
	Vorgehensweise	154
	Auswirkungen von PV-FFA auf die untersuchten Schutzgüter.....	154
	<i>Auswirkungen auf Pflanzen und deren Lebensräume.....</i>	<i>154</i>
	<i>Auswirkungen auf Mittel- und Großsäuger</i>	<i>155</i>
	<i>Auswirkungen auf Vögel</i>	<i>155</i>
	<i>Auswirkungen auf Wirbellose.....</i>	<i>156</i>
	<i>Auswirkungen auf das Landschaftsbild</i>	<i>156</i>
	Vermeidung und ggf. Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen	157
	Kenntnislücken und Forschungsbedarf	157
12	Summary	159



Background and objectives	159
Methods	160
Impacts of Ground-mounted Solar Plants on the environment	160
Mitigation and compensation of impacts	161
Knowledge gaps and need for further research	161
13 Danksagung.....	163
14 Quellenverzeichnis	165
15 Anhang.....	I
15.1 Karten.....	I
15.2 Tabellen	II

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zelltechnologie und spezifischer Modulflächenbedarf	10
Tabelle 2: Mögliche Wirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf die Umwelt	18
Tabelle 3: Qualität der Wirkungsprognosen in den analysierten Vorhabensunterlagen	37
Tabelle 4: Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen in den analysierten Planunterlagen.....	38
Tabelle 5: Vorgeschlagene Kompensationsmaßnahmen in den analysierten Planunterlagen	39
Tabelle 6: Übersicht der Untersuchungsgebiete	44
Tabelle 7: Praxisuntersuchungen: Untersuchungsobjekte und Methoden.....	45
Tabelle 8: Übersicht der Begehungstermine und Transektlängen bei der Heuschreckenerfassung	46
Tabelle 9: Übersicht der Fangzeiträume und der Witterungsverhältnisse	50
Tabelle 10: Übersicht über die Heuschreckenarten an den Untersuchungsstandorten	55
Tabelle 11: Übersicht über die Säugetierarten an den Untersuchungsstandorten	58
Tabelle 12: Ergebnisse der Scheinwerfertextation zur Erfassung von Säugetieren	58
Tabelle 13: Übersicht über die Ergebnisse der ornithologischen Kartierungen 2005-2006	61
Tabelle 14: Ornithologische Beobachtungen an weiteren Standorten.....	62
Tabelle 15: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006) – Summe aller Fangperioden	70
Tabelle 16: An Folien gefangene aquatische Arten (Wanzen, Käfer).....	72
Tabelle 17: An Folien gefangene „semiaquatische Arten“	74
Tabelle 18: An Folien gefangene „sonstige Arten mit engerem Bezug zu Wasserflächen“	75
Tabelle 19: An Folien gefangene „sonstige Laufkäferarten“	76
Tabelle 20: Ergebnisse der Praxisuntersuchung (Landschaftsbild).....	114
Tabelle 21: Hinweise für Voruntersuchungen auf Ackerstandorten oder Konversionsflächen	136
Tabelle 22: Hinweise für Voruntersuchungen auf versiegelten Flächen.....	137
Tabelle 23: Maßnahmen zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen für Arten und Biotope	138
Tabelle 24: Übersicht Begehungstermine	III
Tabelle 25: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Erlasee	V
Tabelle 26: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Erlasee.....	VI
Tabelle 27: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Hemau.....	VII
Tabelle 28: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Hemau	VIII
Tabelle 29: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Mühlhausen.....	IX
Tabelle 30: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Mühlhausen	X
Tabelle 31: Florenliste Hemau	XI
Tabelle 32: Florenliste Markstetten	XII
Tabelle 33: Florenliste Neuenmarkt II.....	XIII



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der jährlich installierten Leistung von PV-Freiflächenanlagen seit 1998.....	3
Abbildung 2: Verteilung der Anlagenzahl auf die Bundesländer.....	4
Abbildung 3: Entwicklung des jährlichen Grundflächenbedarfs für PV-FFA.....	6
Abbildung 4: Anzahl der Freiflächenanlagen verteilt auf die Standorttypen.....	6
Abbildung 5: Schema eines Betriebsgeländes einer PV-FFA (Bsp: feststehende Reihenaufstellung).....	11
Abbildung 6: Beispiel für die Verlegung der Erdkabel im Kabelgraben.....	13
Abbildung 7: Änderung der Flächennutzung (Fallkonstellationen).....	14
Abbildung 8: Beispiel für eine Abzäunung einer PV-FFA.....	22
Abbildung 9: Silhouetteneffekt von PV-FFA.....	24
Abbildung 10: Beispiel für Lichtreflexion an Moduloberflächen.....	24
Abbildung 11: Reflexion und Transmission an Glasoberflächen der PV-Module.....	25
Abbildung 12: Spiegelung an Moduloberflächen.....	26
Abbildung 13: Ablaufschema Eingriffsregelung.....	30
Abbildung 14: Aufbau von Wirkungsprognosen.....	31
Abbildung 15: Beispiele für die Aufständigung von PV-Modulen.....	42
Abbildung 16: Fangfolien am Standort Neuenmarkt II.....	49
Abbildung 17: Fangfolie 4 am Standort Neuenmarkt II.....	49
Abbildung 18: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Hemau (September 2005).....	56
Abbildung 19: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Neuenmarkt II (September 2005).....	56
Abbildung 20: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Marktstetten (September 2005).....	57
Abbildung 21: Raumnutzung der Heuschrecken (in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule -Summe aller drei Standorte und Arten (September 2005).....	57
Abbildung 22: Vogelnest im Holzgerüst auf der Rückseite eines Moduls in Hemau.....	64
Abbildung 23: Schneefreie Bereiche unter Modulen in Mühlhausen.....	65
Abbildung 24: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006) – Summe aller Fangperioden.....	71
Abbildung 25: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006).....	71
Abbildung 26: Verteilung der Nachweise „aquatischer“ Taxa auf die Fangfolien (2006).....	72
Abbildung 27: Schattenwurf am Standort Erlasee.....	78
Abbildung 28: Doppelte Zäunung am Standort Mühlhausen.....	80
Abbildung 29: Sichtraum Solarpark Erlasee (schematisch*).....	92
Abbildung 30: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 1, 300 m südlich der Anlage.....	93
Abbildung 31: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 2a, 400 m südwestlich der Anlage.....	94
Abbildung 32: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 2b, 700 m südwestlich der Anlage.....	95
Abbildung 33: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 3, 1.200 m westlich der Anlage.....	96
Abbildung 34: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 4, 1.300 m südwestlich der Anlage.....	97
Abbildung 35: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 5, 2.000 m südlich der Anlage.....	98
Abbildung 36: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 6, 3.200 m östlich der Anlage.....	99
Abbildung 37: Sichtraum Solarpark Marktstetten (schematisch*).....	100
Abbildung 38: Solarpark Marktstetten, Beobachtungspunkt1, 150 m südöstlich der Anlage.....	101
Abbildung 39: Solarpark Marktstetten, Beobachtungspunkt 2, 300 m südlich der Anlage.....	102
Abbildung 40: Solarpark Marktstetten, Beobachtungspunkt 3, 600 m westlich der Anlage.....	103
Abbildung 41: Solarpark Marktstetten, Beobachtungspunkt 4, 800 m südwestlich der Anlage.....	104
Abbildung 42: Solarpark Marktstetten, Beobachtungspunkt 5, 300 m nördlich der Anlage.....	105
Abbildung 43: Sichtraum Solarpark Mühlhausen (schematisch*).....	107
Abbildung 44: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 1, 50 m südöstlich der Anlage.....	108
Abbildung 45: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 2, 500 m östlich der Anlage:.....	109
Abbildung 46: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 2a 500 m westlich der Anlage mit Lichtreflexen am Gestänge.....	110
Abbildung 47: Solarpark Mühlhausen: Beobachtungspunkt 3, 750 m nordwestlich der Anlage:.....	111



Abbildung 48: Solarpark Mühlhausen: Beobachtungspunkt 4, 3000 m nordöstlich der Anlage..... 112
Abbildung 49: Solaranlage Mühlhausen, Beobachtungspunkt 5, 4000 m westlich der Anlage 113
Abbildung 50: Beispiel für ein Gabionenfundament (Steine in Stahlkorb) 117
Abbildung 51: Luftbild von der PV-FFA Geiseltalsee (im Hintergrund der Geiseltalsee)..... 127
Abbildung 52: Kollisionsrisiko für Vögel an Spiegelglasfronten 129
Abbildung 53: Ermittlung der Beeinträchtigung des Landschaftsbilds (Ablaufschema)..... 132
Abbildung 54: Auswirkungen von Relief und Sichtverschattungen auf den Sichtraum (Schema) 141

Bearbeitung:

*Christoph Herden
Jörg Rassmus*

GFN mbH (Auftragnehmer)
Adolfplatz 8
24105 Kiel
tel.: 0431-80094-83
email: *c.herden@gfnmbh.de*
j.rassmus@gfnmbh.de

Bahram Gharadjedaghi

GFN Umweltplanung – GHARADJEDAGHI & MITARBEITER
Richard-Wagner-Str. 15
95444 Bayreuth
tel.: 0921-56 01 54
email: *b.gharadjedaghi@gfn-umwelt.de*

unter Mitwirkung von

Stefan Gödderz

Sigrun Geiger

Stefan Jansen (GFN - Jansen & Partner, Wittenberge)

Stand: 11.12.2006

DER VORLIEGENDE BERICHT GIBT DIE AUFFASSUNG UND MEINUNG DES AUFTRAGNEHMERS WIEDER UND MUSS NICHT MIT DER AUFFASSUNG DES AUFTRAGGEBERS ÜBEREINSTIMMEN.



Abkürzungsverzeichnis

ASi	Amorphes Silizium (für Dünnschicht-Module)
BauGB	Baugesetzbuch
BfN	Bundesamt für Naturschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
Bp	Brutpaar
CdTe	Cadmium-Tellurid (Halbleiter) für Dünnschicht-Module
CIS	Kupfer-Indium-Selen-Verbindung (chemisches Zeichen ist CuInSe ₂) für Dünnschicht-Module
EEG	Erneuerbare Energien Gesetz
FFH-Gebiet	an die EU-Kommission gemeldeter Gebietsvorschlag gem. der FFH-RL
FFH-RL	Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie der EU
FFH-VP	Verträglichkeitsprüfung gem. § 34 BNatSchG (bzw. der entsprechenden Gesetze der Länder)
FV*	Fotovoltaik (neue Rechtschreibung) = Erzeugung von Strom mittels (Sonnen-)Licht
GOP	Grünordnungsplan
kW	Kilowatt
kWp	Kilowatt <i>peak</i> (maximale Leistung in kW)
LBP	Landschaftspflegerischer Begleitplan
LSG	Landschaftsschutzgebiet
Mover	2-achsige-nachgeführte Solarmodule (s. Tracker)
MW	Megawatt
nm	Nanometer
NSG	Naturschutzgebiet
PV*	Photovoltaik (alte Rechtschreibung) – vgl. FV
PV-FFA	Photovoltaik-Freiflächenanlage
Si	Silizium
Tracker	dem Sonnenstand nachgeführte Solarmodule
UVP / UVS	Umweltverträglichkeitsprüfung / Umweltverträglichkeitsstudie
UVPG	Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung
Solarpark	siehe PV-FFA
VRL	Europäische Vogelschutzrichtlinie
VSchG	Europäisches Vogelschutzgebiet
Wafer	monokristallines Silizium in Scheibenform (Werkstoff der PV-Module)

** im nachfolgenden Text wird an der Schreibweise gem. alter Rechtschreibung festgehalten, da in der öffentlichen Diskussion und auch in Fachkreisen das Kürzel „PV“ für die Photovoltaik ein etablierter Fachbegriff ist.*



1 Veranlassung

1.1 Hintergründe und Zielsetzungen dieses F+E-Vorhabens

Mit der Fortschreibung des EEG im Sommer 2004 und den geänderten Kriterien für die Einspeisevergütung wurde die Photovoltaiknutzung auch auf großen Freiflächen wirtschaftlich möglich. Dies war vom Gesetzgeber vorrangig als wirtschaftlicher Impuls gedacht, da absehbar war, dass ausschließlich durch Gebäudeinstallationen keine schnellen Zuwächse in der Photovoltaiknutzung zu erzielen sind. Durch die erhöhte Nachfrage sollte eine Erhöhung der Produktionskapazitäten erzielt werden, was letztlich zu einer Senkung der Produktionskosten und mittel- bis langfristig zu einer deutlichen Erhöhung des Anteils von Solarstrom führen sollte. Zudem sollten auch technologische Innovationen – insbesondere im Bereich der Planung von Großanlagen – beschleunigt werden. Durch entsprechende Vorgaben im EEG (Steuerungswirkung) soll jedoch sichergestellt werden, dass sich langfristig Gebäude- bzw. Dachinstallationen durchsetzen, die hinsichtlich ihrer Umweltwirkungen als erheblich weniger konfliktrichtig eingestuft werden. Hier sind sowohl die im Vergleich zu Gebäudeinstallationen geringeren Vergütungssätze als auch die jährlich um 6,5 % sinkende Vergütung (sog. Degression) zu nennen. Zum Schutz der Belange des Naturhaushaltes und des Landschaftsbildes und zur Verbesserung der öffentlichen Akzeptanz sind weitere Kriterien im EEG festgelegt worden. Bei den Flächen, die nach Gesetzesvorgabe für eine Nutzung in Frage kommen, handelt es sich um bereits versiegelte Flächen, militärische oder wirtschaftliche Konversionsflächen sowie Ackerflächen, wobei für diese Flächen entweder ein Bebauungsplan gemäß § 30 BauGB bestehen muss oder ein Planfeststellungsverfahren gemäß § 38 BauGB durchgeführt worden ist. Bei der Nutzung von Ackerstandorten ist eine Umwandlung in *Grünflächen* vorgeschrieben.

Auch wenn das EEG in Bezug auf die Genehmigungsfähigkeit von PV-FFA keine unmittelbaren Rechtsfolgen hat, sind aufgrund der derzeit noch hohen Erzeugungskosten für Solarstrom Planungen ohne die Inanspruchnahme der durch das EEG gesicherten erhöhten Vergütung für den erzeugten Strom unwirtschaftlich und somit nicht realistisch. Die weitere Entwicklung der Photovoltaiknutzung in Deutschland hängt somit vor allem von der Preisentwicklung auf dem Modulmarkt und den gesetzlichen Rahmenbedingungen ab, wobei vor allem die Vergütungsvoraussetzungen gem. EEG zu nennen sind.

Im Rahmen der Genehmigungsverfahren für die einzelnen Vorhaben hat sich wiederholt gezeigt, dass die Umweltwirkungen dieses relativ neuen Vorhabentyps nur unzureichend beurteilt werden können. Es wurden z.B. Befürchtungen geäußert, dass die Module durch Reflexionen starke Scheuchwirkungen auf Tiere entfalten oder aber das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen. Mehrfach wurde auf die Gefahr von Kollisionen von flugfähigen Tieren mit den Modulen z.B. aufgrund der Verwechslung mit Wasserflächen hingewiesen. Zudem wurden auch Wissensdefizite hinsichtlich der Erstellung von Wirkungsprognosen bzw. bei der Ableitung geeigneter Vermeidungs-, Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen sichtbar.



Das Bundesamt für Naturschutz (BfN), AS Leipzig, hat daher im August 2005 das hier dargestellte F+E-Vorhaben an die GFN mbH, Kiel, vergeben. In diesem Vorhaben stehen detaillierte Praxisuntersuchungen zu den Wirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf Tier- und Pflanzenarten, Lebensräume und das Landschaftsbild im Vordergrund. Anhand dieser Untersuchungen und einer intensiven Datenrecherche sollen das parallel vom BMU beauftragte Forschungsvorhaben¹ zum Monitoring der Wirkung des EEG auf die Solarstromerzeugung ergänzt und zu einzelnen Fragestellungen konkrete Beurteilungsmaßstäbe ermittelt werden. Die weiteren abiotischen Schutzgüter wie z.B. Boden, Wasser, Luft und Klima sind im Rahmen dieses F+E-Vorhabens nicht detailliert bearbeitet, werden aber in dem parallel laufenden BMU-Vorhaben thematisiert und sind in anstehenden Genehmigungsplanungen angemessen zu berücksichtigen.

Ein wichtiger Schwerpunkt des nachfolgend vorgestellten Vorhabens ist die gezielte Erfassung von ausgewählten Artengruppen in bestehenden PV-FFA und eine Beschreibung und Bewertung der vorhabensbedingten Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes.

Als vorrangige Projektziele des F+E-Vorhabens sind zu nennen:

- Analyse der Auswirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf Arten und Lebensräume sowie das Landschaftsbild anhand von Praxisuntersuchungen und Literaturrecherchen,
- Erarbeitung von fachlichen Grundlagen für die Bewertung der Umweltwirkungen,
- Evaluierung von durchgeführten Vermeidungs- und Kompensationsmaßnahmen an Praxisbeispielen,
- Ableitung von Vorschlägen für die Anwendung der Eingriffsregelung, insbesondere Erarbeitung geeigneter Vermeidungs - und Kompensationsmaßnahmen,
- Erarbeitung von Vorschlägen für geeignete Untersuchungs- (z.B. Bestandserfassungen von Arten) und Monitoringmethoden im Rahmen von Genehmigungsverfahren,
- Aufzeigen verbleibender Kenntnislücken und des weiteren Forschungsbedarfs.

Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass es sich bei diesem Projekt nicht um ein *Monitoringvorhaben* handelt. Die nachfolgend dargestellten Untersuchungen sind nur als erster Ansatz für die Konfliktbewertung dieses neuartigen Vorhabentyps zu verstehen.

¹ Projekttitle: „Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen“ (Auftragnehmer: ARGE MONITORING PV-ANLAGEN).

2 Allgemeine Grundlagen

2.1 Stand der PV-Freiflächennutzung in Deutschland

PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA), umgangssprachlich oft auch als „Solarparks“ bezeichnet, sind großflächige Anlagen zur Stromerzeugung aus Solarstrahlung mittels Kollektoren, in denen die Solarenergie in Strom verwandelt und in der Regel in das öffentliche Netz eingespeist wird (Netzkopplung). Aufgrund dieser mit anderen Kraftwerken vergleichbaren zentralen Stromerzeugung werden PV-FFA auch „Zentrale Photovoltaikanlagen“ genannt.

Eine Übersicht des aktuellen Standes der PV-FFA wurde durch die ARGE PV-MONITORING im Rahmen des parallel laufenden F+E-Vorhabens „Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen“ im Auftrag des BMU erarbeitet. Die wichtigsten Ergebnisse werden hier in Kürze wiedergegeben. Zum Stichtag 28. April 2006 waren insgesamt 103 Anlagen mit einer kumulierten installierten Leistung von 124,7 MW in Betrieb, während sich 4,9 MW verteilt auf zwei Anlagen im Bau befanden. Der Datenbestand umfasste zudem weitere vier Anlagen, die sich zum Zeitpunkt des Stichtags in der Planungsphase befanden. Derzeit entfällt innerhalb der PV-Stromerzeugung auf Freiflächenanlagen ein Marktanteil von rund 10 %.

Die bisher errichteten Freiflächenanlagen haben nach Auskunft der Projektierer positive Impulse für das Marktwachstum und für technische Innovationen ausgelöst [9].

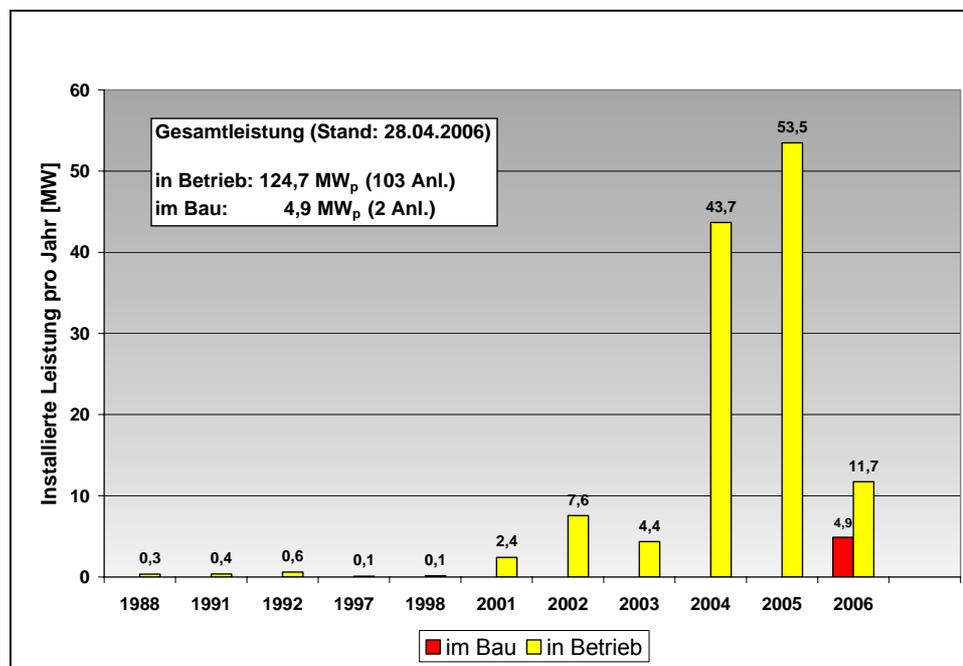


Abbildung 1: Entwicklung der jährlich installierten Leistung von PV-Freiflächenanlagen seit 1998

(Stand 28.04.2006; Quelle: [8])



2.1.1 Modultechnik

PV-Module auf Basis der Dünnschichttechnologie (z.B. CadmiumTellurid [CdTe] oder Kupfer-Indium-Selen-Verbindungen [CCIS]) an Stelle der kristallinen Siliziumtechnik (in Scheiben geschnittenes reines Silizium) werden laut Branchenkennern den Freiflächenmarkt in Deutschland in nächster Zeit beherrschen. Dies zeigt sich zum einen an den geplanten Freiflächenprojekten, die von Anfang an auf Dünnschicht setzen, und zum anderen am Wechsel zu Dünnschichttechnik bei Projekten, deren Planung ursprünglich mit kristallinen Zellen begann. Von den derzeit drei Dünnschichtvarianten, die kommerziell verfügbar sind, wird das Cadmiumtellurid im Bereich der Freiflächenanlagen in den nächsten Jahren marktbeherrschend sein. Die kristallinen Siliziummodule werden in den nächsten Jahren beim Ausbau der Freiflächenanlagen in Deutschland keine Rolle mehr spielen, da die Modulpreise statt zu fallen gestiegen sind und damit die durch das EEG bedingte Degression von 6,5% p.a. wirtschaftlich kaum kompensiert werden kann. Ebenso werden sich vermutlich fertige Endkomponenten (z.B. vorkonfektionierte Erdkabelsysteme und standardisierte Fundament- bzw. Aufstellungstechniken) durchsetzen, da diese in der Regel mit Kostenersparnissen einhergehen und inzwischen auf Hersteller- bzw. Projektiererseite einiges an Praxiserfahrung gesammelt werden konnte.

2.1.2 Regionale Schwerpunkte

Die regionale Verteilung der bislang installierten PV-FFA weist ein deutliches Nord-Süd-Gefälle auf. Dies hat v.a. mit der hohen Strahlungsintensität im Süden Deutschlands zu tun. Allerdings verläuft diese Entwicklung nicht einheitlich, wie z.B. der Vergleich zwischen Baden-Württemberg und Bayern zeigt. Daraus wird deutlich, dass neben der nach Norden abnehmenden Strahlungsintensität (Globalstrahlung) offenbar auch andere Faktoren eine Rolle spielen.

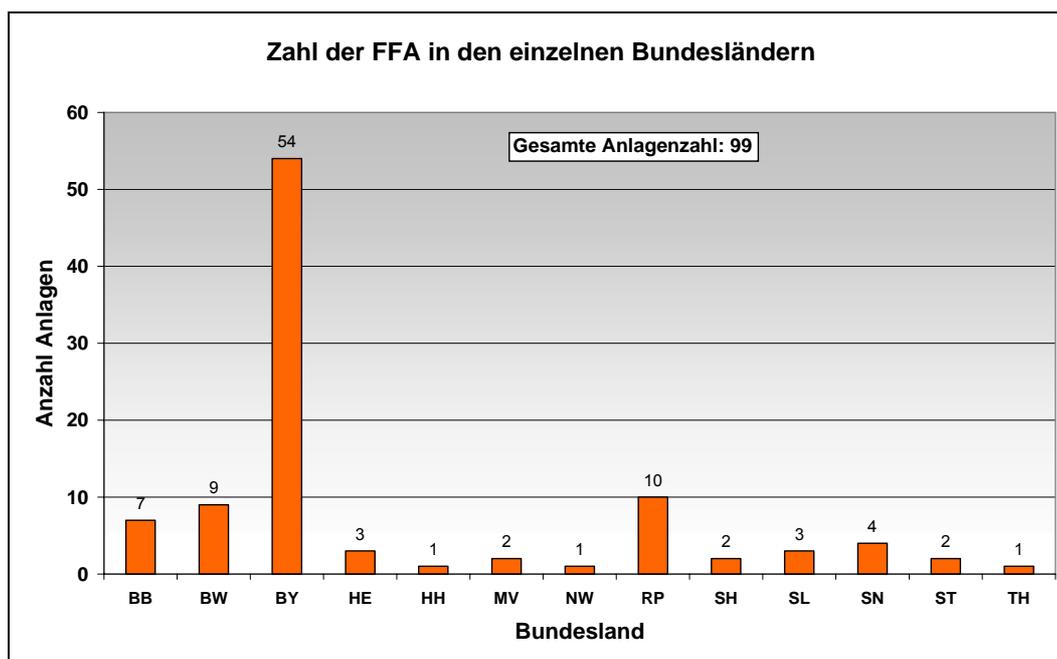


Abbildung 2: Verteilung der Anlagenzahl auf die Bundesländer

(Stand 30.11.2005; Quelle: [9])



2.1.3 Vornutzung der Standorte der PV-FFA

Die bisher von der ArGe PV-Monitoring hinsichtlich des Flächenbedarfs quantifizierten 99 Freiflächenanlagen benötigen eine Gesamtgrundfläche von 459 ha. Dabei muss bedacht werden, dass die im Rahmen der naturschutzrechtlichen Genehmigung ausgewiesenen Ausgleichsflächen bereits darin enthalten sind. Gemittelt über alle 99 erfassten Anlagen beträgt der Flächenbedarf ohne Ausgleichsflächen derzeit rd. 3,12 ha pro kW_p. Je nach Relief und verwendeter Modultechnik kann es jedoch auch zu deutlichen Abweichungen von diesem Mittelwert kommen. Eine Übersicht des jährlichen Grundflächenbedarfs von 2001 bis 2005 durch PV-FFA gibt Abbildung 3.

Das EEG in der Fassung vom 1. August 2004 kennt drei verschiedene Standorttypen für Freiflächenanlagen: versiegelte Flächen wie Mülldeponien, militärische und wirtschaftliche Konversionsflächen und zu Grünflächen umgewidmete Ackerflächen. Vom Gesamtbestand der 99 Freiflächenanlagen sind mehr als die Hälfte auf ehemaligem Ackerland errichtet. Es folgen die Konversionsflächen mit gut 19 % und die Deponiestandorte, auf denen rd. 7 % aller Anlagen stehen (Abbildung 4).

Die intensive Nutzung von ehemals landwirtschaftlich genutzten Flächen für Freiflächenanlagen begann erst im Jahr 2004, nachdem dafür die gesetzlichen Voraussetzungen mit Vorschaltgesetz und novelliertem EEG geschaffen waren.

Vor allem aufgrund der relativ einfachen Planung² und des großen Angebots an derartigen Flächen wurde ein großer Teil der PV-FFA auf ehemaligen Ackerstandorten projektiert. In den neuen Bundesländern überwiegen die Konversionsstandorte, was durch die dort vorhandenen ehemaligen militärischen Liegenschaften sowie die starken Veränderungen in der industriellen Produktion (z.B. Aufgabe vieler Industriestandorte) zu erklären ist.

² bei Konversionsflächen können aufgrund der vorherigen Nutzung unvorhersehbare Schwierigkeiten z.B. mit dem Baugrund oder vorhandenen Altlasten (Munition, Schadstoffe) auftreten; viele ehemalige militärische Übungsplätze sind zudem als Schutzgebiet (z.B. NSG) ausgewiesen und/oder Teil des europäischen Schutzgebietnetzes Natura 2000.

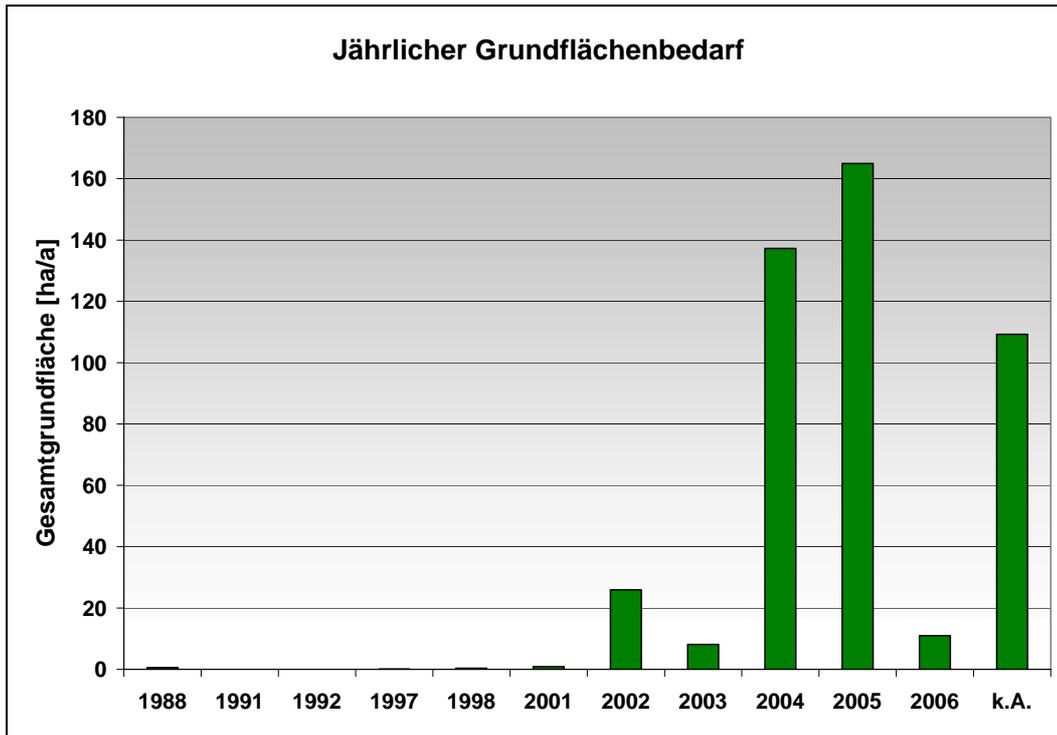


Abbildung 3: Entwicklung des jährlichen Grundflächenbedarfs für PV-FFA

(Stand: 30. 11. 2005, Quelle: [8]) kA = keine Angabe

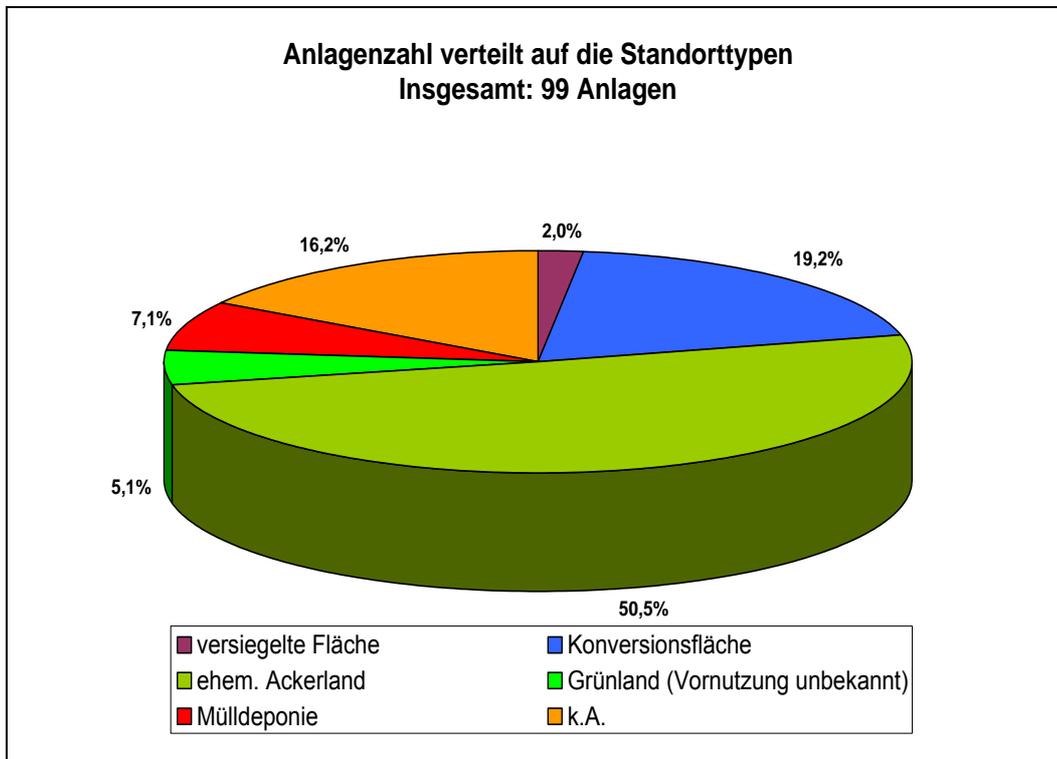


Abbildung 4: Anzahl der Freiflächenanlagen verteilt auf die Standorttypen

(Quelle: [8])



2.2 Übersicht der naturschutzrelevanten Regelungen des EEG zur Photovoltaiknutzung

Maßgeblich für die Vergütung der Solarstromerzeugung ist der § 11 EEG. Die vor allem naturschutzfachlich motivierten Steuerungsregelungen für PV-Freiflächen sind in den Absätzen (3) und (4) verankert.

§ 11 EEG Vergütung für Strom aus solarer Strahlungsenergie (Auszug)

(3) Wenn die Anlage nicht an oder auf einer baulichen Anlage angebracht ist, die vorrangig zu anderen Zwecken als der Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie errichtet worden ist, ist der Netzbetreiber nur zur Vergütung verpflichtet, wenn die Anlage vor dem 1. Januar 2015

1. im Geltungsbereich eines Bebauungsplans im Sinne des § 30 des Baugesetzbuches oder
2. auf einer Fläche, für die ein Verfahren nach § 38 Satz 1 des Baugesetzbuches durchgeführt worden ist, in Betrieb genommen worden ist.

(4) Für Strom aus einer Anlage nach Absatz 3, die im Geltungsbereich eines Bebauungsplans errichtet wurde, der zumindest auch zu diesem Zweck nach dem 1. September 2003 aufgestellt oder geändert worden ist, ist der Netzbetreiber nur zur Vergütung verpflichtet, wenn sie sich

1. auf Flächen befindet, die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans **bereits versiegelt** waren,
2. auf **Konversionsflächen** aus wirtschaftlicher oder militärischer Nutzung befindet oder
3. auf Grünflächen befindet, die zur Errichtung dieser Anlage im Bebauungsplan ausgewiesen sind und zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans als **Ackerland** genutzt wurden.

Mit diesen Kriterien wollte der Gesetzgeber vor allem

- die öffentliche Akzeptanz verbessern bzw. sichern, in dem durch die B-Plan-Bindung eine angemessene Berücksichtigung öffentlicher Belange sowie eine angemessene Freiflächenplanung und Berücksichtigung städtebaulicher Aspekte gewährleistet wird,
- die Bevorzugung vorbelasteter Bereiche (z.B. versiegelte Flächen, Konversionsstandorte, Ackerflächen) bei der Flächenauswahl verstärken und damit
- die Inanspruchnahme von aus Sicht des Landschafts- und Naturschutzes hochwertigen Flächen vermeiden.



2.3 Allgemeine Merkmale von PV-FFA

PV-Freiflächenanlagen von mehreren Hektar Größe und einer Leistung im MW-Bereich werden erst seit wenigen Jahren gebaut, so dass die technische Entwicklung in diesem Bereich nach wie vor sehr dynamisch verläuft.

Der Betrieb zahlreicher PV-Module in Freiflächen erfordert eine Reihe von (primär infrastrukturellen) Veränderungen der Betriebsfläche, die Auswirkungen auf die Umwelt und das Landschaftsbild haben können. Zu nennen sind hier u.a.

- die Sicherung des Betriebsgeländes (Zaun o.ä.),
- der Bau von Wegen, Stellflächen und technischen Einrichtungen,
- die regelmäßige Überprüfung und Wartung der Anlage durch Personal,
- die Verkabelung der Anlage und der Anschluss an das öffentliche Stromnetz mit in der Regel nicht unerheblichen Erdarbeiten,
- die Veränderung des Landschaftsbildes durch die Errichtung von Baukörpern inkl. der eigentlichen Module, die meist weit über das eigentliche Betriebsgelände hinausreicht,
- von den Oberflächen der Module und z.T. auch von metallischen Konstruktionselemente (z.B. Trägerkonstruktionen) ausgehende Emissionen, v.a. Lichtreflexe und Spiegelungen,
- die (teilweise) Überdeckung der Bodenoberfläche durch Module (kleinräumig Verschattung, ggf. Austrocknung),
- die vorhabensbedingt notwendige Pflege der Vegetation (Mahd, Beweidung), die zu einer Veränderung struktureller Parameter des Lebensraumkomplexes führt.

Der Umfang der Veränderungen und deren Auswirkungen sind vorhabens- und standortspezifisch. Neben den unterschiedlichen Herstellungstechnologien, Wirkungsgraden und Recyclingsmöglichkeiten der verschiedenen Modultypen (v.a. Silizium-Wafer, Dünnschichttechnologie) ist auch bei der Aufständigung der Module zwischen dem Sonnenstand nachgeführten Modulen (z.B. 2-achsig nachgeführte sog. *Mover*) und fest auf Gitter- oder Pfahlkonstruktionen aufgebauten Modulreihen zu unterscheiden. Hieraus resultieren z.T. erhebliche Unterschiede in der Höhe der Anlagen und damit auch der Sichtbarkeit in der Landschaft oder dem Emissionsverhalten (z.B. Lichtreflexe, Spiegelungsverhalten). Im Bereich der Fundamentgründung sowie der Verkabelung der Module und Wechselrichter und deren meist unterirdischer Verlegung wurden in jüngerer Zeit einige Neuerungen eingeführt, die zu effizienteren Arbeitsabläufen und damit zu einer Kostenreduktion beitragen, gleichzeitig auch weniger Bodenbewegungen und Bauverkehr erfordern.

Abgesehen von den anlagespezifischen Parametern wie z.B. Höhe der Module, verwendete Baustoffe für die Aufständigung, Reihenabstände oder das Nutzungsregime der Freiflächen sowie die baubedingten Eingriffe ist für die Beurteilung der Auswirkungen auch die Empfindlichkeit des betroffenen Raumes bedeutend. Diese wird maßgeblich beeinflusst von



der naturräumlichen Lage, dem Landschaftsrelief, der Qualität der angrenzenden Lebensräume sowie durch die Unterschiede im lokalen Arteninventar.

Für die Genehmigungspraxis bedeutet dies, dass hinsichtlich der Umweltwirkungen nahezu jede PV-Freiflächenplanung eine **individuelle Betrachtung** erfordert, die eine Charakterisierung der potenziell betroffenen Schutzgüter bzw. Akzeptoren für projektspezifische Wirkungen beinhalten muss. Hilfestellungen hierzu sollen die nachfolgenden Kapitel geben.

2.4 Flächenumwandlung/-inanspruchnahme durch PV-FFA

2.4.1 Flächenbedarf für Module und infrastrukturelle Einrichtungen

Die Bruttoflächen der größeren PV-FFA - d.h. die Größe des meist eingezäunten Betriebsgeländes inkl. der Wege, Nebengebäude, Modulaufstellflächen und sonstigen Frei-, Neben- und ggf. Ausgleichsflächen (vgl. Abbildung 5) - liegen im Bereich von einigen Hektaren, oft bis weit über 20 ha. Aktuelle Planungen³ liegen sogar für Größenordnungen von mehr als 200 ha vor.

Ende 2005 lag die gesamte durch PV-FFA genutzte Fläche in Deutschland allerdings noch deutlich unter 500 ha (davon rd. die Hälfte auf ehemaligen Ackerstandorten). Bezogen auf z.B. die gesamte landwirtschaftliche Nutzfläche in Deutschland (2005 rd. 19 Millionen ha [61]) ist dies ein sehr geringer Anteil. Eine „Flächenkonkurrenz“ z.B. zur landwirtschaftlichen Produktionsfläche ist daher auch bei einem deutlichen Ausbau der PV-FFA-Standorte nicht zu befürchten. Allenfalls auf lokaler bzw. regionaler Ebene (z.B. an besonders begünstigten Standorten) sind diesbezügliche Konflikte theoretisch denkbar.

Der tatsächliche Flächenbedarf von PV-FFA wird maßgeblich bestimmt durch ein Zusammenspiel verschiedener Faktoren, v.a.

- der installierten Leistung (kW_p),
- den Wirkungsgraden der verwendeten Modultypen (spezifische Modulfläche in m² pro kW_p),
- der Anordnung der Systemkomponenten (z.B. Parklayout, Höhe der Module, Abstände der Modulreihen) und Art der Aufständigung (z.B. als Mover oder als festinstallierte Reihe),
- der Größe von integrierten Sonderflächen (z.B. weitere technische Anlagen, Wege und Stellflächen, Kompensationsflächen, Sichtschutzpflanzungen) und
- der Größe der gepachteten Flurstücke bzw. der Gebietsgröße z.B. bei Konversionsstandorten.

³ geplanter Energiepark Waldpolenz auf ehemaligem Militärflugplatz



Tabelle 1 gibt eine Übersicht der minimalen bzw. maximalen spezifischen Modulflächen für die unterschiedlichen Technologien und wie sich diese Spanne für die bisher errichteten Freiflächenanlagen (FFA) darstellt.

Für PV-FFA mit Dünnschichttechnik liegt die spezifische Modulfläche z.B. für *CdTe* 50 % über dem Wert für polykristalline Wafer-Zellen, Anlagen mit *ASi*-Zellen haben eine im Vergleich zu Wafer-Zellen rund doppelt so große spezifische Modulfläche. Anzumerken bleibt, dass die nachfolgend genannten Zahlen rein rechnerische Angaben zu minimal erforderlichen Kernflächen der Modulaufstellung darstellen, die noch nicht den Flächenbedarf für Betriebsgebäude, Wege, Abstände zu Umzäunungen etc. enthalten.

Tabelle 1: Zelltechnologie und spezifischer Modulflächenbedarf
(Quelle: [8])

Spezifische Modulflächen in m ² / kWp						
TECHNIK		Gesamtmarkt (alle Modultypen)		Freiflächenanlagen		
		min	max	min	max	Schwerpunkt
Si- Waferzellen	<i>monokristallin</i>	5.8	7.7	7.0	7.3	7.3
	<i>polykristallin</i>			7.1	7.7	7.5
Dünnschicht	<i>a-Si</i>	15.7	18.9	15.7	15.8	15.7
	<i>CdTe</i>	11.1	14.4	11.1		
	<i>CIS</i>	9.1	10.8	<i>derzeit keine FFA mit CIS in Deutschland</i>		

Die Aufstellfläche entspricht nur dann der spezifischen Modulfläche, wenn die Module ohne Abstand zwischen den Modulreihen aneinander angeschlossen werden können (z.B. in einer Hanglage). Wird in der Ebene installiert, ist zwischen den Modulreihen ein ausreichend großer Abstand einzuhalten, um die gegenseitige Verschattung der Module möglichst gering zu halten. Die Aufstellfläche ist also deutlich größer als die Modulfläche. Dabei sind aufgrund der verschiedenen Höhe des Sonnenstandes nicht unerhebliche Unterschiede zwischen Standorten in Nord- und Süddeutschland zu verzeichnen (vgl. [8]). Die durch Module überschirmte Fläche (senkrechte Projektion der Modulflächen auf den Boden) ist zudem geringer als die eigentliche Modulfläche, da die Module in einem Neigungswinkel montiert werden.

Festzuhalten ist, dass der Modulflächenbedarf aus technischen Gründen bei der - in Zukunft wohl im Bereich der PV-FFA dominierenden - Dünnschichttechnologie deutlich größer ist als bei der *Wafer*-Technik. Die realen Aufstellflächen bestehender Anlagen spiegeln dies jedoch nicht unbedingt wider, da die weiteren o.g. Aspekte diese Effekte oft mehr als überlagern (Abbildung 5).

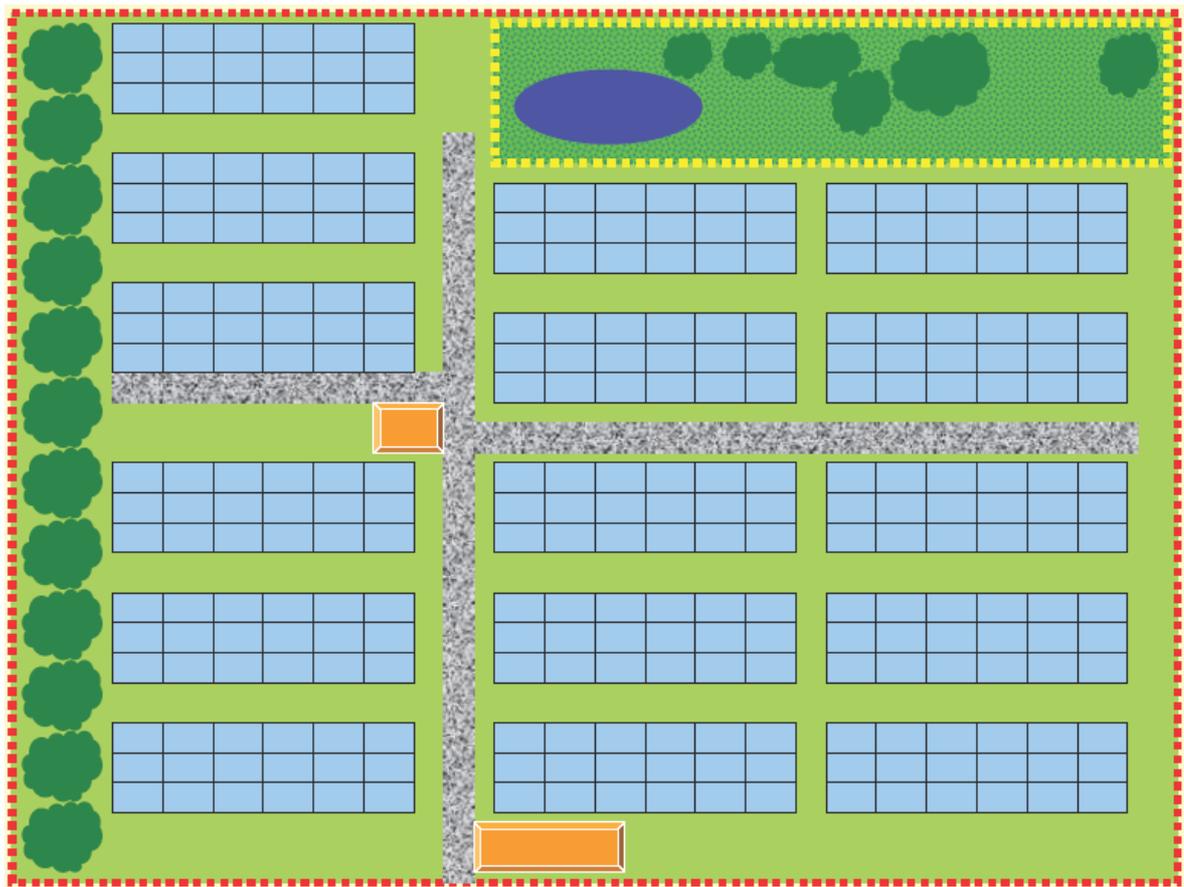


Abbildung 5: Schema eines Betriebsgeländes einer PV-FFA (Bsp: feststehende Reihenaufstellung)

roter Rahmen: Zaun um Betriebsgelände

hellblau: Module bzw. von Modulen überschirmte Fläche (Fundamente sind erheblich kleiner)

orange: Betriebsgebäude (z.B. Wechselrichterstation, Lagerraum)

hellgrün: Grünfläche (meist extensive Mahd oder Weide) – teilweise beschattet

dunkelgrün: Sichtschutzpflanzung (Gehölze), oft auch außerhalb des umzäunten Betriebsgeländes

gelber Rahmen: integrierte Kompensationsfläche, hier mit Kleingewässer und Gehölzen

grau: Wege (z.T. geschottert, teilweise unbefestigt)

Als Größenordnung für die tatsächliche Versiegelung von Böden z.B. durch Fundamente oder Betriebsgebäude sind bei modernen Aufständerungssystemen rd. 0,15-0,20 m² pro 100 kWp für auf kristallinem Silizium basierende Modultypen (Wafer) zu nennen.

Bei Modulen auf Basis der Dünnschichttechnik dürfte diese Zahl aufgrund des geringeren Wirkungsgrades höher liegen. Dabei ist aber zu bedenken, dass die Leistung nicht linear mit der realen Stromerzeugungseffizienz korreliert ist, da Dünnschicht-Module im Vergleich zu Waferzellen z.B. höhere Leistungen bei Streulicht (bedeckter Himmel) aufweisen und auch weniger erwärmungsbedingte Beeinträchtigungen des Wirkungsgrades der Module auftreten.

In den PV-FFA müssen weitere technische Anlagen oder Betriebsgebäude untergebracht werden. Hervorzuheben sind hier z.B. die Wechselrichter, die meist in Standardcontainern untergebracht sind, sowie oft noch Betriebsgebäude z. B. mit Ersatzteilen, Wartungsfahrzeugen o.ä.. Der Flächenbedarf für diese Strukturen liegt auch bei größeren PV-FFA in der Regel im Bereich weniger hundert m² und ist im Vergleich zur Gesamtfläche unbedeutend. Insbesondere bei der Nutzung von Konversionsstandorten sind oft bereits



Gebäude oder bauliche Anlagen (z.B. Lagerflächen, Bunker, Halden) vorhanden, die nicht immer als Standort für die Module genutzt werden können, jedoch auf dem Betriebsgelände liegen.

Meist sind auch Wege notwendig, um Wartungs- oder Reparaturfahrzeugen die Zufahrt zu ermöglichen. In der Regel handelt es sich dabei um (teilversiegelte) Schotterwege. Bei Vorherrschen von gut befahrbaren Böden sind ausgebauten Wege oft verzichtbar, insbesondere wenn entsprechend geeignete Fahrzeuge genutzt werden können (z.B. geländegängige *Quads*).

Die Verkabelung der einzelnen Modulsysteme und Zuleitung zu den Wechselrichtern innerhalb der Parks wird in der Regel über im Erdreich verlegte Kabel hergestellt. Zu diesem Zweck müssen Kabelgräben gezogen werden. Die Verlegtiefe beträgt rd. 60 cm, bei überfahrenen Flächen 80 cm. Oberhalb und unterhalb der Kabel wird eine mindestens 10 cm starke Sandschicht eingebracht, so dass die Grabentiefe der Kabelgräben meist zwischen 70 und 90 cm liegt. Die Kabel werden in einer Ebene nebeneinander verlegt, der Abstand der Kabel und damit die Breite des Kabelgrabens ergibt sich aus der Anzahl der Kabel. Je nach verwendeter Modultechnologie ist mit 300 bis 600 m Kabel pro MWp installierter Leistung zu rechnen⁴. Schon aus Kostengründen wird bereits in der Planungsphase darauf geachtet, Länge und Breite der erforderlichen Kabelgräben möglichst gering zu halten, z.B. durch ein optimiertes Design der Aufstellflächen. Neuerdings werden aus wirtschaftlichen Gründen vorkonfektionierte Kabelstränge bevorzugt, die ein effizientes Verlegen ermöglichen.

Oberirdische Verkabelungen sind bei mehreren Anlagen als Alternative durchgeplant worden, wurden aber wegen der erheblichen Mehrkosten in allen Fällen abgewiesen [8]. Bei diesen Planungen wurde auch deutlich, dass oberirdische Verlegung sogar zu einer erhöhten Bodenversiegelung führen kann. Eine Ausnahme können u.U. vollversiegelte Flächen darstellen, bei denen eine Erdverlegung zu einem überproportional hohen Aufwand führen kann.

Bei weichen Böden ist auch ein Einpflügen einzelner Kabel ohne Grabenaushub möglich. Nach Abschluss der Verlegung wird der Graben verfüllt und steht nach relativer kurzer Zeit wieder als Lebensraum zur Verfügung. Die Bewertung des Eingriffs ist somit vor allem vom naturschutzfachlichen Wert der Eingriffsfläche abhängig. Bei Vornutzung Acker sind aufgrund der Vorbelastungen somit weniger Konflikte zu erwarten als z.B. auf militärischen Konversionsstandorten mit Magerrasenvegetation.

Die Anbindung an das öffentliche Stromnetz ist abhängig von der Lage zum nächsten Einspeisepunkt. In der Regel ist hier nur ein einzelnes Erdkabel notwendig, an dessen Verlegung keine über die Verlegung sonstiger Strokabel hinausgehenden Anforderungen gestellt werden. Im Bereich des Einspeisepunktes sind in der Regel weitere bauliche Maßnahmen (z.B. Umspannung) notwendig.

⁴ Vortrag M. BÄCHLER, 21. Nationales Symposium Photovoltaische Solarenergie, Staffelstein 2006.



Abbildung 6: Beispiel für die Verlegung der Erdkabel im Kabelgraben

(Quelle: [8])

Beim Rückbau ist für die meisten Bodentypen damit zu rechnen, dass die Kabelgräben geöffnet werden müssen, um die Kabel aus dem Erdreich zu entfernen. Ein Belassen der Kabel im Erdreich ist wegen des hohen Gehalts an wertvollem Kupfer auch in Zukunft unwahrscheinlich. Verleghilfen, die ermöglichen würden, die Kabel auch nach mehr als 20 Jahren ohne Aufgraben aus dem Boden zu ziehen, sind nach derzeitigem Stand der Technik sehr aufwändig und werden daher bislang nicht eingesetzt.

2.4.2 Änderung der Landnutzung

Eine bedeutende Umweltwirkung von PV-FFA ist die damit verbundene Veränderung der Landnutzung, vor allem durch die Errichtung der Module und Nebenanlagen sowie die Offenhaltung der Flächen durch Beweidung oder Mahd. Letztere ist zur Vermeidung von Beschattung durch aufwachsende Vegetation sowie aus Gründen des Brandschutzes notwendig. Hierdurch werden weitreichende strukturelle und biozönologische Veränderungen initiiert. Bei Ackerflächen ist auch die vorgeschriebene Umwandlung in Grünflächen zu nennen.

Die naturschutzfachliche Beurteilung dieser Veränderungen kann nicht verallgemeinernd erfolgen, sondern hängt insbesondere von standortspezifischen Rahmenbedingungen ab. Zu nennen ist vor allem die Art der Vornutzung, die Ausprägung der Lebensräume vor der PV-Nutzung und auch das geplante Flächenmanagement der Betriebsflächen nach Bau der PV-FFA.

Aufgrund der diesbezüglichen Vorgaben des EEG sind in der Praxis vor allem die folgenden Fallkonstellationen relevant (vgl. Abbildung 7):

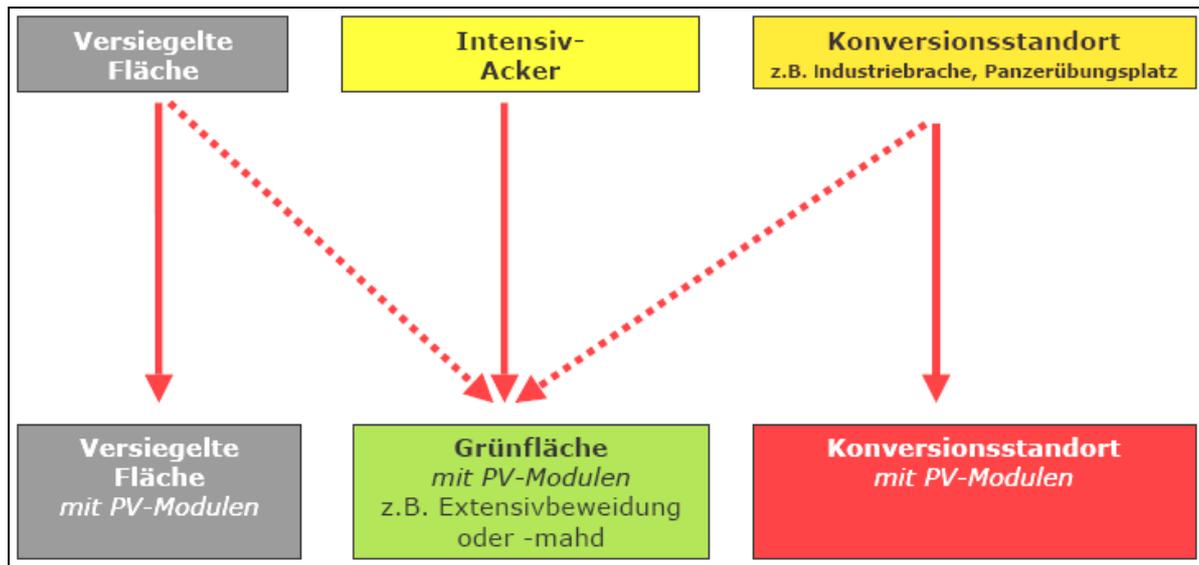


Abbildung 7: Änderung der Flächennutzung (Fallkonstellationen)

Versiegelte Flächen

Versiegelte Flächen sind aus Sicht des Naturhaushaltes in der Regel von nachrangiger Bedeutung und für die PV-Nutzung in der Regel gut geeignet. Dies gilt insbesondere für asphaltierte oder betonierte Flächen (z.B. Straßen, Parkplätze, Start- und Landebahnen).

In Einzelfällen sind aus Sicht des Artenschutzes bemerkenswerte Vorkommen von Tier- und Pflanzenarten nicht auszuschließen, vor allem, weil der Begriff „Versiegelung“ relativ weit gefasst ist und hierzu z.B. auch brach liegende Schotterfluren zählen, die für einige seltene Arten wertvolle Lebensräume darstellen können. Beispiele für solche Artvorkommen sind z.B. Vogelarten wie Haubenlerche, Fledermäuse (nur in Gebäuden oder in Altbaumbestand), einige Reptilienarten, thermophile Insektenarten oder auch einige an derartige Sonderstandorte angepasste Pflanzenarten (z.B. Magerrasenarten, epilithische Flechten oder Moose).

Nutzung als Grünflächen bei Vornutzung Acker

Gemäß § 11 (4) 3 EEG sind PV-FFA nur auf Grünflächen zulässig, die zum Zeitpunkt des Beschlusses über die Aufstellung oder Änderung des Bebauungsplans als Ackerland genutzt wurden. Im Erläuterungstext zum EEG wird der Zeitraum der Ackernutzung auf mindestens 3 Jahre vor B-Plan-Aufstellung präzisiert, um die Gefahr des gezielten Grünlandumbruchs zur Schaffung von PV-FFA-Standorten zu verringern.

Vornutzung Konversionsstandort

Aufgrund der Vielfalt der möglichen industriellen oder militärischen Vornutzungen sind hier keine verallgemeinernden Aussagen zu treffen. Viele der militärischen Liegenschaften sind aufgrund der im Vergleich zur klassischen Kulturlandschaft völlig anderen Nutzung (u.a. Fehlen der intensiven land- und forstwirtschaftlichen Nutzung, geringer Individualverkehr) heute Sonderstandorte, die wertvolle Sekundärlebensräume oder Rückzugsgebiete für viele gefährdete Arten darstellen. Oft liegen sie zudem in Landschaftsräumen, die sehr abgelegen oder bezüglich der Standortbedingungen (z.B. Bodengüte, Bodenwasserhaushalt) für eine intensive land- oder forstwirtschaftliche Nutzung weniger geeignet sind. Daher ist es wenig



verwunderlich, dass sich viele militärische Liegenschaften im europäischen Netz Natura 2000 wiederfinden, woraus dann besondere Schutzansprüche erwachsen, die in Planungen entsprechend zu berücksichtigen sind.

Bei industriellen Konversionstandorten ist eine breite Palette an Standorten denkbar, u.a. umfasst der Begriff Abraumhalden, ehemalige Tagebaugelände oder Fabrikgelände. In der Begründung zur EEG-Novelle⁵ wird explizit darauf hingewiesen, dass die Auswirkungen dieser Nutzungsarten noch fortwirken müssen, um die Voraussetzungen zu erfüllen. Eine lang zurückliegende Nutzung ohne aktuelle Auswirkungen auf die Fläche ist nicht ausreichend. Teilweise erfolgt eine Nachnutzung als Grünfläche (z.B. nach Einsaat).

⁵ Ausschuss für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Ausschussdrucksache 15(15)265** - Drucksache 15/2864 (Deutscher Bundestag, 15. Wahlperiode)



3 Charakterisierung einzelner Wirkfaktoren von PV-FFA

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden auch hinsichtlich bestimmter Wirkfaktoren vergleichbare Strukturen in die Datenrecherche einbezogen. Der Schwerpunkt wurde dabei auf die relativ vorhabensspezifischen Wirkfaktoren wie z.B. die Blendwirkung (Spiegelung, Reflexion), die Verwechslung mit Wasserflächen und das Kollisionsrisiko für fliegende Tiere mit den Vertikalstrukturen der Anlage gelegt. Als vergleichbare Strukturen wurden klassifiziert:

- große Glasfassaden (z.B. Gewächshäuser),
- reflektierende Gebäudedächer (z.B. Hangar, Fabrikhallen),
- regennasse Fahrbahnen oder Parkplätze,
- Vertikalstrukturen wie z.B. Windkraftanlagen oder Funkmasten.

In diesem Zusammenhang wurden u.a. die staatlichen Vogelschutzwarten der Länder und verschiedene Forschungseinrichtungen kontaktiert sowie die zugängliche Fachliteratur und das Internet durchsucht. Die Ergebnisse dieser Recherchen sind in die folgenden Wirkfaktordarstellungen sowie die Auswirkungsprognosen (Kap. 7 und Kap. 8) eingearbeitet.

3.1 Übersicht

Die von PV-FFA ausgehenden Wirkungen auf die belebte und unbelebte Umwelt sowie das Landschaftsbild sind aufgrund der fehlenden Erfahrungen mit diesem Vorhabenstyp derzeit nur unzureichend bekannt. Im Rahmen dieses F+E-Vorhabens wurde der Arbeitsschwerpunkt auf mögliche Auswirkungen der PV-FFA auf die Schutzgüter Tiere und Pflanzen sowie das Landschaftsbild gelegt. Wirkungen auf die übrigen Schutzgüter werden auch im Rahmen des parallel bearbeiteten Monitoringvorhabens des BMU [10] diskutiert und werden daher hier nicht vertiefend behandelt. Weitere Hinweise auf mögliche Umweltwirkungen finden sich bei [37]. Relevante Wechselwirkungen zwischen den biotischen und abiotischen Schutzgütern, z.B. die mögliche Veränderung der Vegetation durch Austrocknung des Bodens unter den Modulen, werden jedoch berücksichtigt.

Die wesentlichen Umweltwirkungen auf die Schutzgüter Tiere und Pflanzen sowie das Landschaftsbild sind in Tabelle 2 dargestellt. Dabei wurde eine Unterscheidung in temporäre und dauerhafte Beeinträchtigungen vorgenommen. Baubedingte Auswirkungen können zwar zu erheblichen Beeinträchtigungen einzelner Schutzgüter führen, sind aber in der Regel nicht dauerhaft und bezogen auf die gesamte Nutzungsdauer (mindestens 20 Jahre) oft vernachlässigbar.

Nicht alle genannten Beeinträchtigungen müssen tatsächlich auftreten und sind auch dann nicht zwangsläufig als „erheblich“ z.B. im Sinne der Eingriffsregelung gem. § 19 BNatSchG einzustufen. Diese planerische und naturschutzrechtlich relevante Bewertung der vorhabensbedingten Beeinträchtigungen kann letztlich nur einzelfallbezogen erfolgen.



Tabelle 2: Mögliche Wirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf die Umwelt

Arten, Lebensräume und das Landschaftsbild (fett hervorgehoben) verändert nach [52]
 t=temporär; d = dauerhaft

Anlagen und Prozesse	Wirkfaktoren	Schutzgüter									Wirkbereich			
		Kultur- und Sachgüter	Mensch / Erholung	Grundwasser	Oberflächenwasser	Boden	Pflanzen / Biotope	Tiere	Klima / Luft	Landschaftsbild	lokal	regional	überregional	
Vorgelagerte Prozesse														
Herstellung	<i>Energiebedarf und Emissionen bei der Herstellung der Bauteile</i>		t	t	t	t	t	t	t			X		
	<i>Naturraumbeanspruchung</i>	t		d	d	d	d	d		d		X		
Baubedingte Wirkfaktoren														
Baustellen-einrichtung	<i>Flächenbelegung</i>	t	t	t	t	t	t			t	X			
	<i>Bodenverdichtung</i>	d				d	d	d			X			
	<i>Bodenabtrag</i>	d				d	d	d			X			
Baubetrieb	<i>Stoffliche Emissionen</i>		t	t	t	t	t	t	t		X			
	<i>Schallemissionen</i>		t					t			X			
	<i>Licht</i>		t					t			X			
	<i>Erschütterung</i>		t					t			X			
Anlagebedingte Wirkfaktoren														
Betriebsgebäude, Module, Wege etc.	Flächenumwandlung:													
	<i>Versiegelung</i>	d		d		d	d	d			X			
	<i>Veränderung der Vegetationsstruktur</i>	d	d				d	d		d	X			
	<i>Pflegemanagment</i>	d	d	d	d	d	d	d	d	d	X	X		
	Emissionen und Sichtbarkeit der Anlage													
	<i>Überschirmung (z.B. Schattenwurf)</i>			d	d	d	d	d	d					
	<i>visuelle Wahrnehmbarkeit, Licht, Reflexionen</i>		d						d			X	X	
	<i>Stoffliche Emissionen</i>		t	t	t	t	t	t	t			X		
	<i>Schallemissionen</i>		t						t			X		
	Flächenzerschneidung:													
<i>Barriere für wandernde Tierarten</i>								d			X	X		
Betriebsbedingte Wirkfaktoren														
Kollektoren, Bauteile	<i>Licht (-Reflexionen)</i>		t					t		t	X	X		
	<i>Erwärmung (Sonneneinstrahlung)</i>							t	t	t	X			
Elektrische Leitungen	<i>Elektromagnetische Felder</i>							t			X			
	<i>Erwärmung (Verlustwärme)</i>					t	t	t			X			



Die in Tabelle 2 genannten Wirkfaktoren lassen sich zu den folgenden Wirkungsgruppen zusammenfassen, die anschließend erläutert werden:

- Versiegelung von Lebensräumen (Flächeninanspruchnahme),
- Bodenumlagerung und Verdichtung, Veränderung abiotischer Standortfaktoren,
- Überschildung durch die Module (u.a. Beschattung, Veränderung des Niederschlagregimes, Erosion durch ablaufendes Wasser),
- Barrieren (insbesondere Abzäunung, Zerschneidung von Wegenetzen),
- Stoffliche Emissionen der Anlagen,
- Visuelle Wirkungen (z.B. optische Emissionen),
- sonstige nichtstoffliche Emissionen (Wärme, Schall, elektrische und magnetische Felder).

3.2 Versiegelungen

Durch die Vorhaben werden bau- und anlagebedingt Grundflächen versiegelt. Die Intensität der Versiegelung ist verschieden. Neben vollständiger Versiegelung z.B. im Bereich der Fundamente oder der Betriebsgebäude (Wechselrichter) treten in der Regel auch Teilversiegelungen z.B. durch geschotterte Wege auf. Diese Wirkfaktoren sind nicht spezifisch für PV-FFA, sondern treten bei vielen Vorhabentypen auf. Bezüglich der Beschreibung und Bewertung von Bodenversiegelungen und deren planerische Bewältigung kann auf vorhandene Literatur verwiesen werden (z.B. [53]) bzw. Regelungen der Länder). Durch effiziente neue Fundamenttypen (z.B. gerammte Stahlrohre statt Betonfundamente) kann der Versiegelungsquotient der genutzten Fläche auf deutlich unter 5% reduziert werden. Derzeit liegt die Versiegelung bei Reihenaufstellung in der Größenordnung < 2 % und bei nachgeführten Anlagen < 5 % der Betriebsfläche (Quelle: [6]).

3.3 Bodenumlagerung und Verdichtung

Baubedingt sind z.T. gravierende Eingriffe in den Boden notwendig. Insbesondere durch die schweren Baufahrzeuge (Materialtransport, Erdarbeiten) kommt es zu Bodenbeeinträchtigungen durch Verdichtung oder Umlagerung. Dies betrifft sowohl die Bauabläufe (z.B. Transport, Lagerung und Aufstellung der Module) als auch die Verlegung der Erdkabel. Hierbei handelt es sich nicht um für PV-FFA spezifische Umweltwirkungen, so dass auf die landschaftsplanerische bzw. bodenkundliche Standardliteratur verwiesen werden kann.

Festzuhalten ist jedoch, dass die großen nachgeführten Modulkonstruktionen („Mover“) im Gegensatz zu feststehenden Reihenkfigurationen in der Regel einen Einsatz schwerer Baufahrzeuge erfordern, die zu höheren Beeinträchtigungen des Bodens z.B. durch Verdichtung führen.



3.4 Überschirmung von Böden

Der Anteil der überschirmten Flächen an den bebaubaren Flächen liegt im ebenen Gelände bei etwa 30 %, oft auch deutlich darunter. Diese Flächen sind jedoch durch den i.d.R. großen Abstand der Modulunterkante vom Boden nicht als versiegelt einzustufen. Die „Überschirmung“ von Böden durch die Module ist auch keine Versiegelung im Sinne der Eingriffsregelung, obgleich auch hierdurch Bodenfunktionen oder Lebensräume gestört bzw. beeinträchtigt werden können. Als wesentliche Wirkfaktoren sind die Beschattung sowie die oberflächliche Austrocknung der Böden durch die Reduzierung des Niederschlagswassers unter den Modulen zu nennen. Zudem kann das an den Modulkanten abfließende Wasser zu Bodenerosion führen. Die Intensität dieser Faktoren wird maßgeblich durch

- die Höhe und Fläche der Modultische,
- die technische Ausführung der Modultische (z.B. mit/ohne Wasserablauf zwischen den einzelnen Modulen, mit/ohne Nachführung) sowie das
- Geländere relief und den Bodentyp

bestimmt.

3.4.1 Beschattung

Aufgrund der Bewegung der Sonne werden auch bei festinstallierten Modulen nicht alle Flächen dauerhaft und gleichmäßig beschattet. In Bezug auf die Modulfläche werden dennoch relativ große Flächen teilweise verschattet, insbesondere bei tiefstehender Sonne. Die heute nahezu in allen Vorhaben realisierte Mindesthöhe der Module von rd. 0,8 - 1 m über Grund⁶ bedingt, dass durch Streulicht in alle Bereiche unter den Modulen ausreichend Licht für die pflanzliche Primärproduktion einfällt. Durch Lichtmangel verursachte vegetationslose Bereiche sind somit nur in extremen Ausnahmefällen zu erwarten.

3.4.2 Veränderung der Niederschläge bzw. des Bodenwasserhaushalts

Durch die Überschirmung des Bodens wird der Niederschlag (Regen, Schnee, Tau) unter den Modulen reduziert. Dies kann z.B. zu oberflächlichem Austrocknen der Böden führen. Die unteren Bodenschichten dürften durch die Kapillarkräfte des Bodens weiter mit Wasser versorgt werden. Nach Schneefall sind die Flächen unter den Modulen oft zum Teil schneefrei, so dass die Vegetation z.B. dem Frost ausgesetzt bzw. weiterhin lichtexponiert ist und somit anderen abiotischen Standortfaktoren unterliegt. Gleichzeitig können solche Flächen aber von nahrungssuchenden Vögeln z.B. bei hohen Schneelagen genutzt werden.

⁶ Der Modulabstand zum Erdboden wird bei unversiegelten Standorten durch die für die Kurzhaltung der Vegetation notwendigen Pflegemaßnahmen (z.B. Beweidung, Mahd) bestimmt, die aus Gründen des Brandschutzes bzw. der Vermeidung von Beschattung der Module durch hochwüchsige Pflanzen nötig sind.



3.4.3 Erosion

Durch das von großen Modulflächen z.T. gerichtet ablaufende Niederschlagswasser kann es insbesondere bei Starkregen zu Bodenerosion kommen. Dies ist naturgemäß bei Hanglagen und offenen Böden mit geringer Versickerungsrate besonders ausgeprägt.

3.5 Barrieren

3.5.1 Abzäunung

Für Mittel- und Großsäuger entsteht durch die Umzäunung des Betriebsgeländes meist ein vollständiger Lebensraumzug. Von den Versicherern wird aufgrund des großen Marktwertes der Module ein mindestens 2 m hoher Zaun mit Alarmanlage und Überwachungseinrichtungen zumindest überall dort gefordert, wo die Module relativ einfach und ohne gravierende Zerstörung aus der Verankerung gelöst werden können. Ausnahmen sind z.B. Standorte auf bewachten Betriebsgeländen oder fest mit den Trägersystemen verklebte bzw. verschweißte Module.

Zugleich müssen aber auch die in vielen PV-FFA eingesetzten Weidetiere (meist Schafe) eingezäunt werden. Dies wird durch die vollständige Abzäunung des Gebietes gewährleistet, wozu in der Regel ein Maschengeflecht verwendet wird. Bei Nutzung von Konversionsflächen (insbesondere Militär) wird meist der vorhandene Schutzzaun weiter genutzt. Einige Planungen in schleswig-holsteinischen Marschgebieten mit geringem Grundwasserflurabstand sehen eine Sicherung der Betriebsfläche durch 1-2 m breite Wassergräben vor, die den Diebstahl bzw. Abtransport demontierter Module ebenfalls erheblich erschweren dürften, gleichzeitig jedoch für viele Großtierarten überwindbar sind und auch neue aquatische Lebensräume darstellen. Allerdings ist diese Art der Abgrenzung des Betriebsgeländes nur in wenigen Landschaftsräumen möglich.

3.5.2 Unterbrechung von Wegenetzen

Die Inanspruchnahme größerer Landschaftsteile kann z.B. zu einer Beeinträchtigung des lokalen Wanderwegenetzes führen. Etwaige Einschränkungen der Erholungsnutzung können auch als Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes (als umfassenden Begriff, der auch die Erholungseignung der Landschaft subsummiert) im Sinne der Eingriffsregelung aufgefasst werden.



Abbildung 8: Beispiel für eine Abzäunung einer PV-FFA

3.6 Stoffliche Emissionen

3.6.1 Baubedingte stoffliche Emissionen

Hier sind im wesentlichen die Emissionen der Baufahrzeuge (z.B. Abgase, ggf. Kraft- und Schmierstoffe) sowie die baubedingten Staubemissionen zu nennen. Diese dürften aber in der Regel nicht zu erheblichen Beeinträchtigungen führen [8]. Nur im Falle des Vorkommens besonders schutzwürdiger bzw. empfindlicher Lebensräume oder Arten sind ggf. entsprechende Schutzmaßnahmen notwendig.

3.6.2 Anlage- und betriebsbedingte stoffliche Emissionen

Die Verschmutzung der Module z.B. durch Staub, Pollen und Vogelkot hat einen negativen Einfluss auf den Ertrag der Photovoltaik-Anlage. Die dadurch bedingten Verluste können bis zu 11 % betragen ([30]). Eine Versiegelung der Module mit einer extrem glatten und damit schmutzabweisenden Schicht (meist hochfestes Glas) hat meist eine relativ hohe Lichtreflexion zur Folge. Die Beschichtung mit einer antireflektierenden Kunststoffschicht reduziert dagegen die schmutzabweisende Eigenschaft der Module. Durch einen steileren Anstellwinkel der Module kann man der Verschmutzung etwas entgegenwirken; bei einer Modulneigung $< 10^\circ$ ist die Selbstreinigung durch Niederschlag nahezu bei Null. Der Einfluss von Verschmutzungen kann somit unter Umständen aus wirtschaftlichen Erwägungen zu einem Reinigungsbedarf führen, auch wenn dies derzeit in der Praxis wohl noch keine Rolle spielt. Inwieweit dies bei größeren PV-FFA mit mehreren tausend Modulen technisch möglich ist und ob dort ggf. Reinigungsmittel eingesetzt werden müssen, kann derzeit nicht beantwortet werden.

Die Modulhalterungen und –tragekonstruktionen können ebenfalls in geringen Mengen Schadstoffe an die Umwelt abgeben. Zu nennen sind hier v.a. Schutzanstriche oder Imprägniermittel (z.B. Zinksalze bei verzinkten Metallen oder Holzschutzmittel). Bei Berücksichtigung einer guten fachlichen Praxis sind hierdurch aber keine erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes zu erwarten.



Weitere anlage- oder betriebsbedingte stoffliche Emissionen in signifikanter Größenordnung sind nicht zu erwarten, so dass eine detaillierte Berücksichtigung bei der Vorhabensbeurteilung in der Regel entbehrlich ist.

3.7 Visuelle Wirkungen

Visuelle Wirkungen und optische Emissionen von PV-FFA können auf vielfältige Weise entstehen. Zu nennen sind in diesem Zusammenhang u.a. die

- Konturen der Anlage (innere Struktur durch Modulreihen oder größere Einzelpaneele, Umriss der Gesamtanlage, Silhouette),
- Lichtreflexion an streuenden Oberflächen (PV-Module),
- Lichtreflexe von spiegelnden Oberflächen wie Metallkonstruktionen (z.B. Modulhalterungen, Metallzäune), glatte Glasoberflächen,
- Änderungen des Spektral- und Polarisationsverhaltens des reflektierten Lichtes (Polarisation des Lichts, Farbe der Module),
- aktive Ausleuchtung von Teilen des Betriebsgeländes (z.B. Betriebsgebäude).

Konturen der Anlage

Die PV-Anlagen heben sich aufgrund der regelmäßigen inneren Strukturen (Gliederung der Anlage in einzelne Modulpaneele („Mover“) oder –reihen, z.T. mit dazwischen liegenden Wegen), der äußeren Umrisse der Anlage (flächiges Erscheinungsbild bei Betrachtung aus größerem Abstand) von anderen sichtbaren Objekten in der Landschaft ab. Sie sind dadurch in der Landschaft auffällig und können zu Wirkungen u.a. auf Tiere sowie auf das Landschaftsbild führen.

Mit „Silhouetteneffekt“ wird die (unspezifische) Wirkung von Vertikalstrukturen auf die Umgebung beschrieben. Diese Unterbrechung der Horizontlinie kann unter Umständen zu Landschaftsbildbeeinträchtigungen oder auch zu einer Entwertung von Teillebensräumen von typischen Offenlandvögeln (z.B. viele Wiesenvögel, rastende Wasservögel) führen. Dies liegt u.a. daran, dass jede Vertikalstruktur als Ansitzwarte für Prädatoren (z.B. Krähenvögel, Mäusebussard) dienen kann, die für im Umfeld nistende Bodenbrüter und deren Junge eine große Gefahr darstellen und daher (instinktiv) als Brutplatz gemieden werden. Für rastende Gänse oder Limikolen ist vor allem die gute Einsehbarkeit der Umgebung aus Gründen der Feindvermeidung (z.B. durch sich annähernde Füchse) von Bedeutung, die durch Vertikalstrukturen eingeschränkt wird.



Abbildung 9: Silhouetteneffekt von PV-FFA

(Quelle: Internetfoto: <http://de.wikipedia.org/wiki/Sonnenenergie>)

Lichtreflexe

Die Module wie auch die Tragekonstruktionen von PV-FFA reflektieren einen Teil des Lichts. Gegenüber vegetationsbedeckten Flächen erscheinen sie daher in der Landschaft in der Regel als hellere Objekte und können dadurch störend für das Landschaftsbild wirken. Die Moduloberflächen erscheinen bei Ansicht aus größerer Entfernung häufig mit einer ähnlichen Helligkeit wie der Himmel. Dieser Effekt ist bei starker Lichteinstrahlung ausgeprägter. Bei PV-FFA sind vor allem die Glasoberflächen der Module, die Grenzschicht Glas/Silizium sowie metallische Konstruktionsteile (z.B. Rahmen, Aufständungen, Halterungen) von Bedeutung (Abbildung 10). Auf den Modulen ist die Reflexion des einfallenden Lichtes naturgemäß unerwünscht, da die Reflexion des Lichtes einem Verlust an energetischer Ausbeute der Sonnenenergie gleichkommt. Aus wirtschaftlichen Gründen wird die Reflexion des einfallenden Lichts somit möglichst gering gehalten. Dennoch ist die Reflexion von Licht nicht vollständig vermeidbar (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 10: Beispiel für Lichtreflexion an Moduloberflächen

Quelle: Internetfoto <http://www.landmark-halle.de/img/jepgs/bild4.jpg>

Die marktüblichen Antireflexbeschichtungen sind nur für den sichtbaren Teil des Sonnenlichts - das Spektrum der Wellenlängen zwischen 380 und 780 nm - wirksam.



Außerhalb dieses Spektrums reflektieren entspiegelte Gläser sogar deutlich mehr Licht als Glas ohne Antireflexschicht und sind deshalb als Solarglas ungeeignet. Selbst hochwertige Gläser lassen ohne Antireflexschicht bestenfalls 90 Prozent des Lichts passieren: 8% der Sonnenstrahlung werden an den beiden Grenzflächen der Scheibe zurückgeworfen, weitere 2 % gehen durch Streuung und Absorption innerhalb der Glasschicht verloren (vgl. Abbildung 11). Moderne, speziell für die PV-Nutzung entwickelte Antireflexbeschichtungen (sog. „Solarglas“) können die solare Transmission, d.h. den Anteil der durch das Glas dringenden Solarstrahlung, auf über 95 % steigern und damit die Reflexion der Glasoberfläche unter 5 % bringen. Insgesamt dürfte der Gesamtanteil des reflektierten Lichtes jedoch deutlich höher liegen, da neben der Glasoberfläche auch die Grenzschicht Glas/Silizium reflektiert. Schätzungen von Fachleuten liegen im Bereich von ca. 15-20 % z.B. für Dünnschichtmodule. Durch die Ausrichtung der Module zur Sonne sind nicht alle Flächen in der Umgebung zu gleichen Teilen betroffen. Neben den Modulen können auch andere Konstruktionselemente (z.B. metallische Oberflächen der Halterungen, Trägersysteme etc.) Licht reflektieren. Aufgrund der Vielzahl dieser Elemente und der relativ unsystematischen Ausrichtung dieser Bauteile zum Licht sind Reflexionen in die gesamte Nachbarschaft möglich.

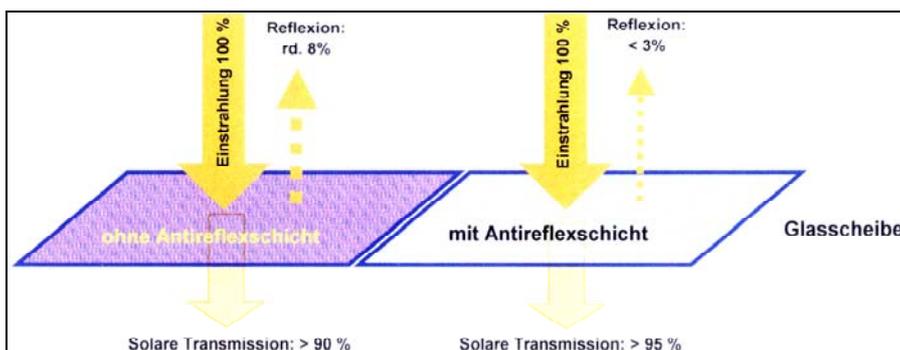


Abbildung 11: Reflexion und Transmission an Glasoberflächen der PV-Module

Einfluss von Antireflexbeschichtungen (Quelle: verändert nach [21])

Zu beachten ist, dass es an der Grenzschicht Glas / Solarwerkstoff (z.B. Si) zu weiteren Reflexionen kommt.

Spiegelung

Im Gegensatz zur i.d.R. gestreuten Reflexion von Licht ohne Informationsgehalt wird hierunter die bildliche Widerspiegelung von sichtbaren Teilen der Umwelt an den Glasoberflächen verstanden. Das Phänomen der „Unsichtbarkeit“ (z.B. durch Transparenz), das für die Vogelwelt z.B. bei Anflug an Glasfassaden eine besondere Gefahrenquelle darstellt, trifft auf PV-Module nicht zu, da diese nicht transparent und lichtundurchlässig sind, so dass keine diesbezüglichen Beeinträchtigungen zu erwarten sind.

Das Spiegelungsverhalten der Modultypen ist stark abhängig vom gewählten Material. Im Gegensatz zu Modulen aus amorphem Silizium können bei ungünstigem Lichteinfall insbesondere bei der Dünnschichttechnologie (dünne Trägerschicht zwischen zwei Glasscheiben) starke Spiegelungen auftreten (vgl. Abbildung 12).



Abbildung 12: Spiegelung an Moduloberflächen

Bsp.: Aufdachkonstruktion mit Dünnschicht-Technologie

(Quelle: Internetfoto: <http://www.rpse.de/download/bildmaterial/Gescher1.jpg>)

Änderungen des Spektralverhaltens oder der Polarisation des Lichtes

Die Reflexion von Licht an Oberflächen kann die Polarisierungsebenen des reflektierten Lichtes ändern. Sonnenlicht ist unpolarisiert, allerdings entsteht auch durch das Streulicht am blauen oder bedeckten Himmel ein (für den Menschen nicht sichtbares) charakteristisches Muster teilweise polarisierten Lichts, das abhängig vom Stand der Sonne ist. Viele Tiergruppen können die Polarisierungsebene des Lichtes wahrnehmen und nutzen diese z.B. zur Orientierung im Raum. Dies gilt z.B. für viele Vögel und Insektenarten [33].

Trifft Sonnenlicht auf ein transparentes, nichtmetallisches Medium (z.B. eine Glasplatte oder Wasseroberfläche), so wird es zum Teil reflektiert und zum Teil im Medium gebrochen. Das reflektierte Licht hat die Eigenschaft, dass es teilweise polarisiert ist, wobei Polarisierungsgrad und -winkel vom Einfallswinkel des Lichtes, dessen Wellenlänge sowie vom Brechungsindex des verwendeten Materials abhängen. Bei einem bestimmten Einfallswinkel (sog. BREWSTER-Winkel) ist das reflektierte Lichtbündel vollständig linear polarisiert. Dieser Winkel liegt bei Glasoberflächen bei etwa 53° , bei Wasseroberflächen bei rd. 56° , so dass diese sich diesbezüglich nur wenig unterscheiden.

Künstliche Lichtquellen

Die Beleuchtung von Teilen des Betriebsgeländes wird z.T. aus Gründen des Diebstahl- bzw. Vandalismusschutzes notwendig oder durch die betriebsinternen Abläufe bzw. den Unfallschutz bedingt (z.B. Ausleuchtung der Zuwegungen und Betriebsgebäude). Die Emissionen hierdurch unterscheiden sich in der Regel nicht von sonstigen Betriebsgebäuden oder Siedlungsflächen. Bei PV-FFA weit außerhalb der geschlossenen Bebauung kann die Beleuchtung unter Umständen als Umweltwirkung von Bedeutung sein, was dann vor allem das Landschaftsbild betrifft und auch Effekte auf die Tierwelt (Lockwirkung auf Fluginsekten wie Nachtfalter) haben kann.



3.8 Erwärmung von Modulen und Kabeln

Durch die Absorption der Sonnenenergie heizen sich die Moduloberflächen bei längerer Sonnenexposition stark auf, wobei Oberflächentemperaturen von über 60° C erreicht werden können. In der Regel liegen die Temperaturen bei den gut hinterlüfteten freistehenden Modulen auch bei voller Sonneneinstrahlung jedoch eher im Bereich von 35° - 50° C. Da der Wirkungsgrad der Module mit steigender Temperatur signifikant abnimmt, wird aus wirtschaftlichen Gründen versucht, diese Erwärmung z.B. durch ausreichende Hinterlüftung der Module zu minimieren.

Die Aufheizung der Oberflächen kann bei größeren PV-FFA zu einer Beeinflussung des lokalen Mikroklimas führen, z.B. durch eine Erwärmung des Nahbereichs oder auch durch aufsteigende Warmluft (Konvektion). Diese Aufheizung könnte insbesondere bei kühler Witterung zu einer Lockwirkung für Fluginsekten führen; im Extremfall sind auch Schädigungen oder Tötung von anfliegenden Kleintieren durch die Wärme denkbar.

Die Emission der Wärmestrahlung (IR-Strahlung) kann von einigen Tieren wahrgenommen werden (vgl. Kap. 3.7, S.23). Im Gegensatz zu *PV-Konzentratoranlagen*, die mittels Spiegeln die Sonnenstrahlen auf einen zentralen Brennpunkt fokussieren, dort sehr hohe Temperaturen erreichen und auch zum Tod von Vögeln führen können [47], sind die bei den in Deutschland geplanten PV-FFA maximal erreichten Temperaturen für Wirbeltiere wenig gefährlich, da genügend Zeit für die aktive Flucht aus den erhitzten Bereichen verbleibt. Für einige Arten ist zumindest zeitweise eine Attraktionswirkung zu erwarten (z.B. zum morgendlichen „Aufwärmen“), was durch die Geländeuntersuchungen auch bestätigt wurde.

Bei der Stromableitung über die Erdkabel entsteht ebenfalls in geringem Umfang Verlustwärme. Die Erwärmung der Kabel ist abhängig vom Querschnitt der Leiter (Widerstand) und von der Leistung, die über die Kabel abgeführt werden. Diese ist bei PV-FFA aufgrund der insgesamt geringen fließenden Ströme in den einzelnen Kabelsystemen jedoch für Organismen unbedeutend und hinsichtlich der Umweltwirkung vernachlässigbar.

3.9 Schallemissionen

Schallemissionen sind vor allem während der Bauzeit durch die eingesetzten Baumaschinen zu erwarten. Zur Beurteilung der Lärmemissionen durch Baumaschinen liegt ausreichend Literatur vor. Potenzielle Konfliktbereiche sind Störungen von Anwohnern (zu beachten: 32. BImSchV) sowie Störungen von Wildtieren in besonders sensiblen Phasen. Zu berücksichtigen ist, dass episodischer (Bau-)Lärm weniger konflikträchtig ist als Dauerlärm, wie er z.B. von stark befahrenen Straßen emittiert wird [54].

Betriebsbedingte Emissionen sind auch durch die Wechselrichter bzw. Trafos oder durch die Nachführung der Module mittels Elektromotoren zu nennen. Wechselrichter sind hinsichtlich der Lärmemissionen jedoch als weitgehend unproblematisch einzustufen (Abschirmung) und auch die Geräusche der Elektromotoren liegen in keiner umweltrelevanten Größenordnung.

Durch windbedingte Anströmgeräusche an den Modulen oder Konstruktionsteilen können weitere Schallemissionen entstehen. Diese dürften aber durch die bei starkem Wind



vorherrschende Geräuschkulisse überlagert werden, so dass Schallemissionen von PV-FFA in der Praxis von nachrangiger Bedeutung sein dürften.

3.10 Elektrische und magnetische Felder

Durch die elektrische Spannung bzw. die Stromübertragung entstehen elektrische und magnetische Felder um die Kabelsysteme, deren Feldstärke von der Spannungshöhe bzw. der Stromstärke abhängt. Bei den in PV-FFA verwendeten Gleichstromkabeln kommt es nicht zu einer Aufhebung der Felder, wie es z.B. aufgrund der Phasenverschiebung bei „idealen“ Dreileiter-Drehstromsystemen zu erwarten ist. Die elektrischen Felder bei Gleichstromleitern gelten zudem unter dem Gesichtspunkt des „Elektrosmog“ in Bezug auf ihre Wirkung auf biologische Systeme weit weniger kritisch als die elektrischen Wechselfelder. Elektrische Wechselfelder können zu physiologischen Veränderungen (z.B. Absenkung des Melatoninspiegels) führen. Außer den in der 26. BImSchV (Elektrosmogverordnung) festgeschriebenen Grenzwerten gibt es keine rechtlich bindenden Grenzwerte für Wechselfelder. Neben diesen Grenzwerten existieren offizielle Empfehlungen, wie z.B. von DIN/VDE oder der Strahlenschutzkommission.

In PV-FFA kommen verschiedene Kabelsysteme zum Einsatz. Die Betriebsspannungen reichen bis zu 1 kV und die maximalen Stromstärken (in den zu den Wechselrichtern führenden Sammelkabeln) können bei Vollast bis zu 100 A⁷ betragen. Jedoch sind auch hier erhebliche Beeinträchtigungen der (belebten) Umwelt nach vorherrschender Auffassung sicher auszuschließen, zumal die o.g. Stromstärken nur in wenigen Kabelabschnitten bei Vollast auftreten und zudem in relativ wenig belebten Bodenschichten wirken. Durch die i.d.R. metallischen Gehäuse der Wechselrichter bzw. Trafostationen werden elektrische und magnetische Felder weitgehend von der Umwelt abgeschirmt. Auch liegen diese Anlagen auf dem Betriebsgelände und sind damit für betriebsfremde Personen unzugänglich.

Insgesamt sind somit keine erheblichen nachhaltigen Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes oder der Erholungseignung der Landschaft durch elektrische bzw. magnetische Felder zu erwarten.

⁷ mdl. Auskunft DR. M. MACK, SOLAR ENGINEERING DECKER & MACK GMBH



4 Naturschutzrechtliche Rahmenbedingungen

4.1 Eingriffsregelung

Die Eingriffsregelung (auch Eingriffs-Ausgleichs-Regelung) ist das Instrument des Naturschutzrechts zur Eingriffsfolgenbewältigung. Vor allem sollen negative Folgen von Eingriffen (= Beeinträchtigungen) in Natur und Landschaft vermieden und minimiert werden (vgl. Abbildung 13).

Die Mehrheit der PV-FFA-Vorhaben wird im Rahmen von Bauleitplanungsverfahren (Aufstellung/Änderung eines Bebauungsplans, vgl. auch Kap. 4.5) genehmigt. Die Eingriffsregelung ist dann auf die Ebene des Bebauungsplans vorverlagert und bereits bei Aufstellung und Änderung des B-Planes als Teil der bauleitplanerischen Abwägung - und nicht erst bei dessen Verwirklichung durch konkrete Bauvorhaben - anzuwenden. Damit soll sichergestellt werden, dass die Belange des Naturschutzes trotz der Lockerung planerischer Anforderungen für einzelne Bauvorhaben nicht unberücksichtigt bleiben. Die notwendigen Kompensationsmaßnahmen werden als Ergebnis des bauleitplanerischen Abwägungsprozesses verbindlich festgesetzt.

Zur Umsetzung der Eingriffsregelung wurden in vielen Ländern von den zuständigen Naturschutzbehörden fachliche Vorgaben in Form von Erlassen, Verordnungen oder Leitfäden erstellt, die zu beachten sind.

4.1.1 Eingriffsdefinition

Der Begriff des Eingriffes wird im § 18 BNatSchG definiert:

*„Eingriffe in Natur und Landschaft im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels, die **die Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts** oder **das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können.**“*

Der Bau von PV-FFA ist als Veränderung der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen einzustufen, die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können, und erfüllt damit die Eingriffsdefinition gem. § 18 (1) BNatSchG.

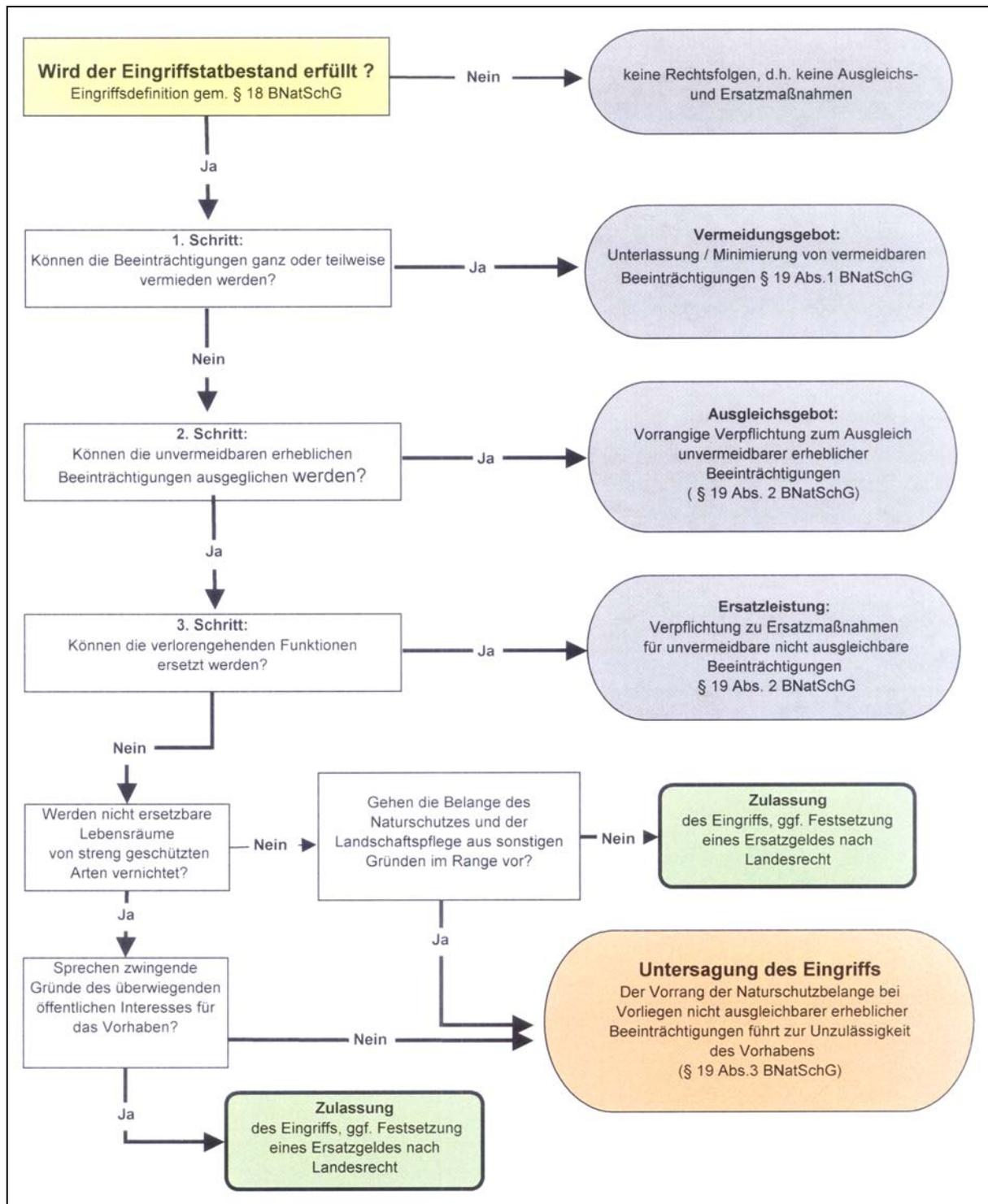
4.1.2 Vermeidungs- und Minimierungsgebot, Kompensation

Die Vermeidung und Minimierung erheblicher Beeinträchtigungen des Naturhaushalts und des Landschaftsbildes sind in der Systematik der Eingriffsregelung gem. § 19 BNatSchG vorrangig, wobei die Verhältnismäßigkeit bzw. Zumutbarkeit ebenfalls abgewogen werden muss. Es wird zwischen „vermeidbaren“ negativen Auswirkungen (Beeinträchtigungen) und „unvermeidbaren“ Auswirkungen unterschieden. Näheres regeln die Ländergesetze.



Abbildung 13: Ablaufschema Eingriffsregelung

(nach [55])



4.1.3 Wirkungsprognosen in der Eingriffsregelung

Für jeden Eingriff in Natur und Landschaft sind die vom Vorhaben ausgehenden Wirkungen in ihrer Art und Intensität sowie ihrer Reichweite und Wirkungsdauer zu prognostizieren [53].



Die Wirkungsprognose ist somit der zentrale Arbeitsschritt der Eingriffsregelung. Ihre Ergebnisse bilden die Grundlage für

- die Erfassung der Wirkungen und ihre Bewertung hinsichtlich Erheblichkeit und Nachhaltigkeit möglicher Beeinträchtigungen,
- die Ableitung von Vorkehrungen zur Vermeidung sowie von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen und die Entscheidung über die Zulässigkeit des Vorhabens.

Durch ihre zentrale Stellung beeinflussen Wirkungsprognosen maßgeblich den Arbeitsablauf der Eingriffsregelung. So können die Ergebnisse von Wirkungsprognosen zu einem Rückwirkungen auf die notwendige Abgrenzung des Untersuchungsraumes und auf die zu untersuchenden Schutzgüter haben. Untersuchungstiefe, Anzahl und Art der zu untersuchenden Schutzgutkomponenten werden durch die Wirkungsprognose in ihrer fachlichen Rechtmäßigkeit bestätigt. Zum anderen liefert die Wirkungsprognose nicht nur die materielle Grundlage für die Bestimmung der Erheblichkeit und Nachhaltigkeit sowie der Schwere (das Ausmaß) der Beeinträchtigungen und damit auch für die Bemessung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen, sondern gerade auch für die Ableitung von Vorkehrungen zur Vermeidung von Beeinträchtigungen, unabhängig davon, ob diese als erheblich oder nicht erheblich bewertet werden (s. Abbildung 14).

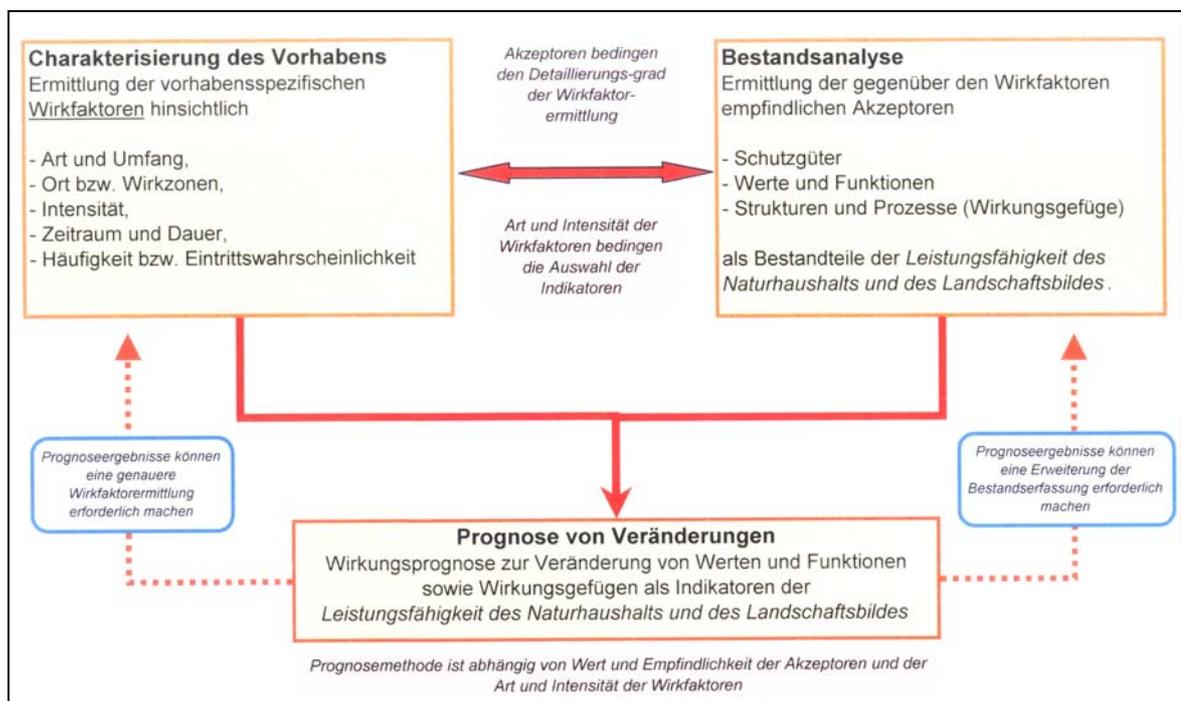


Abbildung 14: Aufbau von Wirkungsprognosen

(verändert nach [55])



Eine Wirkungsprognose umfasst die folgenden Arbeitsschritte (vgl. Abbildung 14):

- Ermittlung der Wirkfaktoren des Vorhabens (Vorhabensbeschreibung, Wirkfaktoranalyse),
- Ermittlung der Akzeptoren (Bestandsanalyse),
- Sachgerechte Verknüpfung von Wirkfaktoren und Akzeptoren,
- Prognose von Veränderungen.

4.2 Umweltverträglichkeitsprüfung

Ein Solarpark wird entsprechend der vergütungsrechtlichen Bestimmungen des § 11 EEG üblicherweise im Rahmen eines B-Plan-Verfahrens zugelassen. Dann ist nach geltender Rechtslage die Umweltprüfung (vgl. Kap. 4.5) obligatorisch. Neben den Bauleitplanungsverfahren bei der Zulassung von PV-FFA sind auch in seltenen Ausnahmen andere Verfahren nach § 38 BauGB (Fachplanungsverfahren) möglich.

Der Vorhabentyp „Solarpark“ oder „Anlage zur Erzeugung von Strom aus Sonnenenergie“ ist nicht Bestandteil der Anlage 1 zum UVP-Gesetz. Nach deutschem Recht ist daher eine UVP-Pflicht nicht gegeben. Auch in den Ländern ist dieser Vorhabentyp nicht aufgenommen. Die UVP-Richtlinie 85/337/EWG (in konsolidierter Fassung) führt in Anhang I (= obligatorische UVP-Pflicht) diesen Vorhabentyp ebenfalls nicht auf. In Anhang II könnten PV-Freiflächenanlagen nach Ziff. 3a (Anlagen der Industrie zur Erzeugung von Strom) durch den nationalen Gesetzgeber der UVP-Pflicht unterworfen werden, wobei dies sowohl von einer Einzelfallprüfung als auch von Schwellenwerten abhängig gemacht werden darf. Davon wurde bezüglich PV-Freiflächenanlagen bislang in Deutschland kein Gebrauch gemacht, so dass großflächige PV-Freiflächenanlagen, die nicht den Kriterien der Ziff. 18.7 der Anlage 1 zu § 3 Abs. 1 UVPG entsprechen, keiner Umweltverträglichkeitsprüfungspflicht unterliegen [10].

4.3 Artenschutzrecht

Die Mehrheit der PV-FFA-Vorhaben wird im Rahmen von Bauleitplanungsverfahren genehmigt. Bereits bei der Aufstellung oder Änderung eines Bebauungsplanes ist als Teil der bauleitplanerischen Abwägung auch das einschlägige Artenschutzrecht zu beachten. Die wesentlichsten Anforderungen daran werden nachfolgend dargestellt.

Die Neufassung des Bundesnaturschutzgesetzes (BNatSchG) vom März 2002 führte zu einer wesentlichen Aufwertung des gesetzlichen Artenschutzes. In § 10 Abs. 2 Nr. 10 und Nr. 11 BNatSchG wird der Schutzstatus der Arten definiert. Im Abschnitt 5 des BNatSchG wird der Schutz wild lebender Tier- und Pflanzenarten geregelt. Für die Fachplanungen ist dort vor allem der § 42 von Bedeutung, der die zentralen Vorschriften des besonderen Artenschutzes enthält und im Absatz 1 für die besonders und streng geschützten Tier- und Pflanzenarten Verbote für unterschiedliche Beeinträchtigungen nennt.



§ 43 (4) BNatSchG nennt Ausnahmen von diesen Verboten und im § 62 BNatSchG werden schließlich Befreiungsmöglichkeiten aufgezeigt, wobei ein Verweis auf die europarechtlichen Vorgaben der FFH-RL und VRL erfolgt. Der im Zusammenhang mit dem Artenschutz ebenfalls zu beachtende § 19 (3) BNatSchG fällt unter die Eingriffsregelung und betrifft die Zerstörung von nicht ersetzbaren Lebensräumen streng geschützter Arten.

Durch aktuelle Urteile, insbesondere des EuGH [26], wurde die Auslegung der Art. 12, 13 und 16 FFH-RL präzisiert und dabei insbesondere auch die in § 43 BNatSchG genannten pauschalen Ausnahmen z.B. für Vorhaben, die unter die Eingriffsregelung fallen, als nicht richtlinienkonform eingestuft⁸. Die artenschutzrechtliche Prüfung muss somit auf der Grundlage der Verbote des § 19 (3) BNatSchG bzw. § 42 (1) BNatSchG unter besonderer Berücksichtigung der europarechtlichen Vorgaben der FFH-RL (Art. 12, 13 und 16) und VRL (Art. 5 und 9) erfolgen.

In der Bauleitplanung gelten die Ausnahmetatbestände des § 43 BNatSchG, die dort z.B. für die unter die Eingriffsregelung fallende Vorhaben oder landwirtschaftliche Nutzungen aufgeführt sind, grundsätzlich nicht. Damit ist z.B. das Töten *besonders geschützter* Tiere gem. § 42 (1) 1 BNatSchG verboten. Da z.B. auch zahlreiche häufige Laufkäferarten (Gattung *Carabus*) zu den *besonders geschützten* Arten zählen und ein Töten von Individuen spätestens bei umfangreichen Erdarbeiten kaum vermeidbar ist, sind derzeit rechtssichere Genehmigungen in der Regel nur durch entsprechende Befreiungen zu erreichen. Befreiungen gem. § 62 BNatSchG von artenschutzrechtlichen Verbotstatbeständen müssen bei den zuständigen Landesbehörden beantragt werden.

Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen gem. § 19 Abs. 2 BNatSchG sind zudem grundsätzlich nicht geeignet, die Verwirklichung artenschutzrechtlicher Verbotstatbestände nach § 42 (1) BNatSchG zu verhindern [20].

4.4 Natura 2000

Bei der planerischen Vorbereitung und Genehmigung von PV-FFA sind auch die Anforderungen der FFH-Richtlinie zu beachten, deren wesentlichste Anforderungen nachfolgend formuliert werden.

Das europäische kohärente Schutzgebietsnetz NATURA 2000 umfasst die als FFH-Gebiete (Gebiet von gemeinschaftlicher Bedeutung) und EU-Vogelschutzgebiete von den Mitgliedsstaaten an die europäische Kommission gemeldeten Gebiete bzw. Gebietsvorschläge. Gem. §§ 34, 35 BNatSchG sind Projekte oder Pläne, soweit sie, einzeln oder im Zusammenwirken mit anderen Projekten oder Plänen, geeignet sind, ein Gebiet von gemeinschaftlicher Bedeutung oder ein Europäisches Vogelschutzgebiet erheblich zu beeinträchtigen, vor ihrer Zulassung oder Durchführung auf ihre Verträglichkeit mit den Erhaltungszielen eines Gebiets von gemeinschaftlicher Bedeutung oder eines Europäischen Vogelschutzgebiets zu überprüfen.

⁸ Eine sinngemäße Übertragung dieser Auslegungen auch auf die entsprechenden Artikel 5 und 9 der VRL ist derzeit zu empfehlen.



Dabei ist es unerheblich, ob das Vorhaben innerhalb oder außerhalb des betroffenen Natura 2000-Gebietes liegt. Vielmehr sind die spezifischen Erhaltungsziele, d.h. vor allem die Erhaltung oder Wiederherstellung eines günstigen Erhaltungszustands der maßgeblichen Lebensraumtypen und Arten der Anhänge I und II FFH-RL bzw. der Vogelarten des Anhang 1 VRL des Gebietes Prüfgegenstand. Wirkfaktoren, die von einem entfernt liegenden Vorhaben in ein NATURA 2000-Gebiet hineinwirken (z.B. als Emission oder Störung) und zu erheblichen Beeinträchtigungen der dort lebenden Arten führen könnten, erfüllen bereits den Tatbestand einer Verträglichkeitsprüfungspflicht. Zur Methodik der Durchführung dieser sog. FFH-VP haben viele Länder, aber auch Bundesbehörden und die EU-Kommission Hinweise und Leitfäden veröffentlicht.

Im Falle einer Unverträglichkeit ist ein sog. Ausnahmeverfahren gem. § 34 (3-5) BNatSchG in der Regel nicht möglich, da die dort genannten Kriterien, insbesondere die „zwingenden Gründe des überwiegenden öffentlichen Interesses“, für PV-FFA wohl nicht in Anspruch genommen werden können und in der Regel zumutbare Alternativen (z.B. eine Ausweichfläche in der Gemeinde) vorhanden sein dürften.

4.5 Umweltprüfung

Die Umweltprüfung gem. § 2 Abs. 4 BauGB umfasst alle o.g. Prüf- und Bewertungsschritte auf der Ebene der Bauleitplanung. Die Hintergründe der Umweltprüfung für PV-FFA (als relativ neuen Verfahrensschritt in der Bauleitplanung) sind im Rahmen einer Diplomarbeit an der FH Erfurt [52] zusammengestellt und in einem „Methodischen Leitfaden“ auch erste Hinweise zur Durchführung der Umweltprüfung erarbeitet worden.



5 Auswertung vorhandener Planungen

5.1 Zielsetzung

Die vorhandenen Genehmigungsunterlagen aus den untersuchten PV-Freiflächenstandorten wurden systematisch hinsichtlich der durchgeführten Minderungs-, Vermeidungs- und Kompensationsmaßnahmen (Art, Umfang, räumliche Lage und funktioneller Bezug zum Eingriff) ausgewertet. Dabei wurden die für die Maßnahmenkonzeption ausschlaggebenden Wirkungsprognosen und die Methodik zur Festlegung der Kompensationsmaßnahmen ebenfalls geprüft. Insgesamt wurden die Genehmigungsunterlagen von 4 der 6 untersuchten Standorte (vgl. Tabelle 6, S. 44) analysiert.

Die untersuchten PV-FFA sind überwiegend schon seit mehreren Jahren am Netz, d.h. die Genehmigungsverfahren für diese Vorhaben wurden im Zeitraum 2001-2004 bearbeitet und durchgeführt. Zu diesem Zeitpunkt waren sowohl die Novelle des EEG vom 1.8.2004 als auch weitere für das Genehmigungsverfahren relevante Gesetzesnovellen⁹ z.T. noch nicht in Kraft. Hieraus folgt, dass die Verfahrensabläufe schon aus diesem Grund nicht als Beispiel für die aktuelle fachliche Praxis bezüglich der Erstellung von Genehmigungsunterlagen herangezogen werden können, da sich die rechtlichen Rahmenbedingungen seither deutlich verändert haben.

Gleichwohl ist die methodische Herangehensweise, insbesondere bei der Abarbeitung der Eingriffsregelung gem. § 18 ff BNatSchG bzw. § 8 BNatSchG (Fassung bis 2002) von Interesse. Ein kurzer Exkurs zu Eingriffsregelung ist in Kap. 4.1 dargestellt.

Ziel war dabei auch die Überprüfung der *Wirkungsprognosen* zu einzelnen Schutzgütern (vgl. Kap. 4.1.3, [53]), soweit dies zum jetzigen Zeitpunkt schon möglich ist. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in tabellarischer Form, indem die für PV-FFA relevanten Umweltwirkungen aufgelistet werden und eine Zuordnung und überschlägige Bewertung der Prognosequalität erfolgt.

Zu bedenken ist, dass die große Mehrheit der PV-FFA im Rahmen von Bauleitplanungsverfahren genehmigt werden dürfte. In diesen Verfahren haben die zuständigen Gemeinden weitreichende Planungshoheit. Nach der Novellierung des BauGB im Jahr 2004 ist für Bauleitplanungen heute eine Umweltprüfung („Plan-UVP“) durchzuführen, die in der Systematik an die UVP angelehnt ist. Die Abarbeitung der Eingriffsregelung (gem. BNatSchG) ist hier auf die Ebene des Bebauungsplans verlagert und bereits bei Aufstellung und Änderung des B-Planes als Teil der bauleitplanerischen Abwägung anzuwenden. Dennoch zielen die folgenden Auswertungen auf die

⁹ Dies gilt z.B. für das am 20. Juli 2004 in Kraft getretene sog. EAG Bau. Mit dem EAG Bau hat die Bundesrepublik Deutschland die sog. Plan-UP-Richtlinie in nationales Recht umgesetzt. Nach dieser Richtlinie müssen die Mitgliedstaaten der EU gewährleisten, dass ab 20. Juli 2004 für „Pläne“ (u.a. Bauleitplanungen) eine sog. Umweltprüfung durchzuführen ist. Ebenso ist das BNatSchG zum 4.4.2002 novelliert worden, wodurch sich u.a. Änderungen im Artenschutzrecht, der Eingriffsregelung sowie bei Natura 2000 ergaben.



Eingriffsregelung als „klassisches Instrument“ der Vorhabensbeurteilung im deutschen Naturschutzrecht und deren Systematik.

5.2 Material

Von den sechs als Untersuchungsgebiet ausgewählten Solarparks lagen für 2 Vorhaben keine auswertbaren Unterlagen vor. Die vier verbleibenden Planungen wurden ausschließlich sachbezogen und anonymisiert, d.h. ohne Zuordnung zu den einzelnen Projekten, ausgewertet, da nicht die Bewertung der einzelnen Vorhaben (oder die Qualität der einzelnen Planungen) im Vordergrund stand, sondern ausschließlich eine Beurteilung der allgemeinen fachlichen Praxis erfolgen sollte.

Die überprüften Genehmigungsunterlagen umfassten verschiedene Plantypen:

Vorhaben A: UVS zu Raumordnungsverfahren, kombinierter Landschaftspflegerischer Begleitplan und Grünordnungsplan (2004)

Vorhaben B: Begründung zur F-Planänderung und B-Planaufstellung sowie Grünordnungsplan (2003)

Vorhaben C: separater Text zur „Anwendung der naturschutzfachlichen Eingriffsregelung“ im Rahmen einer B-Planaufstellung (2003)

Vorhaben D: Landschaftspflegerischer Begleitplan (2002)

5.3 Qualität der Wirkungsprognosen

Für die in Tabelle 3 dargestellten Umweltwirkungen wurde geprüft, ob eine Wirkungsprognose (vgl. Kap. 4.1.3) erstellt wurde und wenn ja, welche Qualität diese aufweist.

Als Qualitätskriterien wurden

- die fachliche Herleitung der Prognose (z.B. durch argumentative Kausalketten oder Literaturverweise) und
- die Vollständigkeit der Prognose (Nennung des Wirkfaktors, des jeweiligen Akzeptors sowie die Beschreibung der Auswirkung auf der Sachebene)

gewertet.

Dabei wurden aus Gründen der Vereinfachung 5 Bewertungskategorien gewählt:

- ooo *Wirkungsprognose vollständig erfolgt und fachlich nachvollziehbar hergeleitet*
- oo *Wirkungsprognose vollständig erfolgt, jedoch durch mangelnde Herleitung schwer nachvollziehbar*
- o *Wirkungsprognose sehr oberflächlich erfolgt (ohne Quantifizierung und fachliche Herleitung)*
- x *keine Wirkungsprognose erfolgt*
- *Wirkfaktor tritt vorhabensbedingt nicht auf*



Tabelle 3: Qualität der Wirkungsprognosen in den analysierten Vorhabensunterlagen

Wirkungsgruppe	mögliche Wirkung	Tiere	Pflanzen	Landschaftsbild	Vorhaben A	Vorhaben B	Vorhaben C	Vorhaben D
Flächenumwandlung / Flächeninanspruchnahme	<i>allgemeiner Verlust von Lebensräumen durch Versiegelung</i>	X	X		OOO	OO	OOO	OO
	<i>allgemeiner Verlust von Lebensräumen durch veränderte Nutzung</i>	X	X		OOO	OOO	O	OO
	<i>Beeinträchtigung von Lebensräumen durch Eingriffe in den Boden (z.B. Verdichtung)</i>	X	X		O	O	O	O
	<i>Beeinträchtigung von Lebensräumen durch Überschirmung (z.B. Austrocknung)</i>	X	X		OOO	X	X	X
	<i>Beeinträchtigung von Lebensräumen durch Beschattung</i>	X	X		OOO	X	X	X
Barrierewirkung	<i>Lebensraumzug durch Einzäunung</i>	X			-	X	X	X
	<i>Beeinträchtigung des Biotopverbunds</i>	X			OO	X	X	X
	<i>Einschränkung der Naherholung</i>			X	OOO	O	O	-
optische Wahrnehmbarkeit und Emissionen	<i>allgemeine Veränderung des Landschaftsbilds</i>			X	OOO	O	O	X
	<i>Störung durch Reflexionen / Blendwirkung</i>	X		X	OO	O	X	X
	<i>Störung / Scheueffekt durch Silhouetteneffekt</i>	X		X	O	X	X	X
	<i>Attraktionswirkung der Module auf Tiere (Gefährdungspotenzial)</i>	X			O	X	X	X
akustische Emissionen	<i>baubedingter Lärm</i>	X		X	OOO	X	X	X
stoffliche Emissionen	<i>ggf. Schadstoffaustritte bei Havarien oder Reinigung</i>	x	x		OO	O	X	X

Legende:

- OOO Wirkungsprognose vollständig erfolgt und fachlich nachvollziehbar hergeleitet
- OO Wirkungsprognose vollständig erfolgt, jedoch durch mangelnde Herleitung schwer nachvollziehbar
- O Wirkungsprognose sehr oberflächlich erfolgt (ohne Quantifizierung und fachliche Herleitung)
- X keine Wirkungsprognose erfolgt
- Wirkfaktor tritt vorhabensbedingt nicht auf

Es zeigt sich, dass nur in wenigen Fällen vollständige Wirkungsprognosen erfolgt sind und das für den Vorhabentyp PV-FFA bedeutende Wirkfaktoren z.T. überhaupt nicht thematisiert wurden.



5.4 Festgesetzte Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen

Die Herleitung von gezielten Maßnahmen zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen setzt naturgemäß eine Wirkungsprognose („Welcher *Wirkfaktor* führt zu welcher *Wirkung* bei welchem *Akzeptor*?“) voraus.

Die in den ausgewerteten Unterlagen vorgeschlagenen Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen von Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes (hier vor allem für Arten und Lebensräume) und des Landschaftsbildes werden im Folgenden aufgelistet:

Tabelle 4: Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen in den analysierten Planunterlagen

<p>Vorhaben A</p> <ul style="list-style-type: none">○ höhenlinienparallele Aufstellung, dadurch Reduzierung des „technischen Charakters“ des Erscheinungsbildes○ Standortwahl (weitgehend sichtsverschattete Lage)○ Anlage von Sichtschutzpflanzungen und Eingrünung der Betriebsgebäude○ extensive Grünlandnutzung ohne Betriebsmitteleinsatz○ Vermeidung von schadstoffhaltigen Betriebsmitteln bzw. Anlagenbestandteilen <p>Vorhaben B</p> <ul style="list-style-type: none">○ Verzicht auf große Erdbewegungen während des Baus○ Erhalt bestehender Fuß- und Radwegbeziehungen○ Anpassung an das Geländere relief bzw. den Flurstückverlauf○ Eingrünung des bebauten Gebietes <p>Vorhaben C</p> <ul style="list-style-type: none">○ keine spezifischen Vermeidungs- oder Minderungsmaßnahmen genannt <p>Vorhaben D</p> <ul style="list-style-type: none">○ Einsatz von Baufahrzeugen mit Zwillingsreifen bzw. Ketten (Minimierung der Bodenverdichtung)○ Aussparung hochwertiger Teilflächen von der PV-Modulaufstellung
--



5.5 Festgesetzte Kompensationsmaßnahmen

Die folgenden Maßnahmen zur Kompensation verbleibender unvermeidlicher Beeinträchtigungen sind in den ausgewerteten Unterlagen dargestellt.

Tabelle 5: Vorgeschlagene Kompensationsmaßnahmen in den analysierten Planunterlagen

<p>Vorhaben A</p> <ul style="list-style-type: none">○ Anlage von Feuchtbiotopen (als Ersatz für die überschirmten „trockenen“ Flächen)○ extensive Grünlandnutzung im Aufstellbereich <p>→ ökologische Aufwertung großer Anteile des Projektgebietes auch außerhalb der Aufstellbereiche</p>
<p>Vorhaben B</p> <ul style="list-style-type: none">○ Pflanzung von Feldhecken und -gehölzen (externe Fläche)○ Umwandlung von Acker in extensive Schafweide (externe Fläche)○ Schaffung schmaler randlicher Grünflächenstreifen○ Wiederherstellung eines beeinträchtigten (Biotop-) Vernetzungskorridors <p>→ Kompensationsfläche insgesamt rd. 35 % der Größe der Aufstellfläche (als externe Fläche)</p>
<p>Vorhaben C</p> <ul style="list-style-type: none">○ Neupflanzung von Hecken○ Neuanlage von extensivem Grünland (eine Mahd pro Jahr)○ Entwicklung einer Hochstaudenflur (Mahd alle 2 Jahre) <p>→ Kompensationsfläche insgesamt rd. 36 % der Größe der Aufstellfläche (externe Fläche)</p>
<p>Vorhaben D</p> <ul style="list-style-type: none">○ Anlage von Borstgrasrasen bzw. Pflege von Feuchtbiotopen durch Heudrusch (auf dem Vorhabensgelände) <p>→ Kompensationsfläche insgesamt rd. 47 % der Aufstellfläche (auf Projektgelände)</p>

5.6 Fazit

Aufgrund der insgesamt geringen Qualität der Wirkungsprognosen ergeben sich bei den analysierten Unterlagen fachliche Defizite bei der Abarbeitung der Eingriffsregelung. Dies gilt insbesondere für die Erstellung nachvollziehbarer Wirkungsprognosen für einzelne betroffene Strukturen (z.B. Schutzgüter bzw. für den Naturhaushalt wertgebende Elemente) und Prozesse. Hieraus ergibt sich, dass auch die Ableitung gezielter, auf die jeweilige Beeinträchtigung abgestellter Vermeidungs-, Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen mit Mängeln behaftet ist. Ein Ausgleich oder Ersatz der beeinträchtigten Werte und Funktionen ist somit oft kaum möglich bzw. nachvollziehbar

Hierfür sind mehrere Gründe denkbar: Die untersuchten Projektbeispiele liegen bis auf eine Ausnahme in Bayern. Hierbei gilt es zu bedenken, dass in Bayern (wie auch in einigen anderen Bundesländern) die Bearbeitung der Vorgaben der Eingriffsregelung im Rahmen der Bauleitplanung in der Regel unter Anwendung einer vorgegebenen Methodik („Leitfaden“) erfolgt. Der Leitfaden „Bauen im Einklang mit Natur und Landschaft“ [13] gibt einen methodischen Ablauf bei der Anwendung der Eingriffsregelung vor, der letztlich in eine



Überlagerung von „Flächen mit unterschiedlicher Bedeutung für den Naturhaushalt“ und „Flächen mit unterschiedlicher Eingriffsschwere“ mündet. Ergebnis sind dann „Teilgebiete mit unterschiedlicher Beeinträchtigungsintensität“. Diese sind flächenmäßig zu bilanzieren und werden dann mit verschiedenen Kompensationsfaktoren (Spanne 0,2 – 3,0) multipliziert.

Auch wenn dieser Leitfaden im Grundsatz eine der Systematik der Eingriffsregelung folgende Planung keineswegs ausschließt, ist festzustellen, dass in der Praxis die betroffenen *Funktionen* und *Werte* des Naturhaushaltes nicht immer angemessen bei der Bestandsbeschreibung bzw. Konfliktbewertung Berücksichtigung finden.

Eine schutzgutspezifische Auseinandersetzung mit den vorhabensbedingten Beeinträchtigungen findet dann nicht statt, wenn einer Teilfläche *frühzeitig* eine Wertstufe zugeordnet wird, ohne die wertgebenden Schutzgüter auf der Sachebene zu benennen. Gleiches gilt für die Ermittlung der Beeinträchtigungsintensität, die in der Regel nicht durch die Nennung der beeinträchtigten Werte und Funktionen hergeleitet wird. Vermeidungs- und Minderungsmaßnahmen können dann nicht zielgerichtet abgeleitet werden, und auch die Kompensationsermittlung basiert dann nicht auf fachlichen, der Systematik der Eingriffsregelung folgenden Überlegungen.

Beispiel.: Die Beeinträchtigung bzw. Verdrängung von schutzwürdigen Vorkommen von Offenlandbrütern auf einem für die PV-Nutzung ausgewählten Standort kann naturgemäß nicht durch die Neupflanzung von Hecken im Randbereich des Vorhabens ausgeglichen werden. Auch wenn die Gehölze in der Regel schnell von anderen Vogelarten besiedelt werden (und möglicherweise zur Vermeidung von Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes beitragen), ist hierdurch kein Ersatz der verlorengegangenen Funktion (hier: Habitatfunktion für Offenland besiedelnde Brutvögel) erzielt worden.

Hieraus erklärt sich u.a. der relativ hohe Anteil nicht erfolgter bzw. oberflächlicher Wirkungsprognosen in den analysierten Vorhaben (vgl. Tabelle 3).

Eine weitere Ursache dürfte auch in der Tatsache zu suchen sein, dass mit dem Vorhabentyp PV-FFA hinsichtlich seiner Umweltwirkungen noch relativ wenige Erfahrungen vorliegen, so dass sich hinsichtlich der Auswahl *relevanter Wirkfaktoren* als auch der Erstellung angemessener Wirkungsprognosen noch keine gefestigte Planungspraxis etabliert hat.

6 Praxisuntersuchungen

6.1 Fachlicher Hintergrund der Praxisuntersuchungen

Im Gegensatz zum zeitlich weitgehend parallel laufenden Monitoringvorhaben des BMU (vgl. [6], [8]) sollten in dem hier vorgestellten Vorhaben Praxisuntersuchungen in bereits realisierten PV-FFA im Vordergrund stehen. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt dabei auf der Ermittlung der möglichen Auswirkungen auf Pflanzen und Tiere sowie das Landschaftsbild.

Aufgrund des späten Termins der Auftragvergabe (August 2005) und der ursprünglich vorgesehenen relativ kurzen Laufzeit des F+E-Vorhabens (Abgabe April 2006¹⁰) mussten sehr kurzfristig geeignete Untersuchungsgebiete für die Praxisuntersuchungen ausgewählt werden. Zuvor wurde ein Katalog mit Auswahlkriterien entwickelt, der im folgenden vorgestellt wird.

6.2 Kriterien zur Auswahl der Untersuchungsgebiete

→ Kriterium 1: Geografische Lage (Naturraum)

Die untersuchten Vorhaben sollen nach Möglichkeit in verschiedenen Naturräumen Deutschlands liegen, um ggf. die naturraumspezifischen Besonderheiten berücksichtigen zu können (z.B. Eigenarten der Kulturlandschaft, Landschaftsrelief, ggf. Besonderheiten des Artenspektrums).

→ Kriterium 2: Politische Lage (Bundesländer)

Aufgrund unterschiedlicher länderspezifischer Vorgaben bezüglich der Genehmigungsaufgaben oder der Kompensationsmaßnahmen sollen nach Möglichkeit Vorhaben in verschiedenen Bundesländern bearbeitet werden.

→ Kriterium 3: Art der Vornutzung

Aufgrund der gem. EEG verschiedenen Möglichkeiten der Vornutzung (u.a. Acker, militärische oder industrielle Konversionsflächen) und des unterschiedlichen Naturschutzwertes dieser Vornutzungen, der Differenzen innerhalb des zu erwartenden Arteninventars und der dadurch unterschiedlichen vorhabensbedingten Auswirkungen sollen möglichst verschiedene Arten der Vornutzung berücksichtigt werden. Der Schwerpunkt liegt hierbei aus fachlicher Sicht auf den empfindlichen Standorten. Extrem vorbelastete Flächen wie z.B. Mülldeponien mit angrenzenden Industrieflächen oder vollständig versiegelte Flächen sind für dieses Vorhaben von nachrangigem Interesse.

→ Kriterium 4: Anlagentyp und Größe

Viele der Umweltwirkungen von PV-Freiflächen hängen mit der Größe der in Anspruch genommenen Fläche zusammen. Auch das technische Anlagendesign (z.B. Größe und Höhe einzelner Module, Abstand der Reihen) ist von Bedeutung. Derzeit finden sich als Extreme einzeln stehende, relativ große und hohe nachgeführte Einzelinstallationen (sog. „Mover“, z.B. Erlasee) sowie lange Reihen mit fest montierten Modulen (z.B. Hemau).

¹⁰ Ende 2005 erfolgte eine Laufzeitverlängerung um rd. ein halbes Jahr, um einige der Untersuchungen in das Frühjahr bzw. den Sommer auszuweiten, für die das Winterhalbjahr weitgehend ungeeignet ist.



→ Kriterium 5: Repräsentanz

Die untersuchten PV-FFA sollen hinsichtlich ihrer Konfiguration, Technik und Lage möglichst repräsentativ für die derzeitige (und zukünftige) PV-Freiflächennutzung sein.



Abbildung 15: Beispiele für die Aufständering von PV-Modulen

links: feststehende Reihe; rechts: 2-achsig nachgeführte „Mover“

Zusätzlich zu den allgemeinen Auswahlkriterien waren auch noch spezifische methodische Kriterien zu berücksichtigen:

→ Kriterium 6: Eignung für die zu untersuchende Artengruppe

Nicht alle PV-FFA sind für die geplanten Untersuchungen gleichermaßen geeignet. Insbesondere die Vorkommenswahrscheinlichkeit bestimmter Artengruppen (in signifikanten Populationsgrößen) hängt stark von z.B. der Vornutzung, den vorkommenden Habitatstrukturen oder Nachbarschaftseffekten (u.a. Gewässernähe) ab.

→ Kriterium 7: Alter der Anlage

Viele der größeren PV-Parks sind erst innerhalb der letzten 2 Jahre realisiert worden. Die Flächen sind daher oft noch durch die baubedingten Beeinträchtigungen (Fahrspuren, Bodenverdichtungen, offene Böden) gekennzeichnet. Naturgemäß benötigen die meisten Artengruppen eine gewisse Zeit zur (Wieder-) Besiedlung dieser Flächen, auch sind „Störzeiger“ (z.B. Pionierarten) vor allem in den ersten Jahren in signifikanter Zahl zu erwarten. Aus diesem Grund sind mindestens 2 Jahre in Betrieb befindliche PV-Parks grundsätzlich besser zum Nachweis vorhabensbedingter Auswirkungen geeignet.

→ Kriterium 8: hinreichende Zugänglichkeit

Für die Durchführung der meisten der geplanten Felduntersuchungen muss die jeweilige Anlage betreten werden, wofür eine Zustimmung der Betreiber notwendig ist. Neben der grundsätzlichen Zustimmung ist aber auch eine flexible Betretungserlaubnis notwendig, da aufgrund der Wettergebundenheit einiger Untersuchungen kurzfristig realisierbare Betretungstermine unerlässlich sind. Gleiches gilt für die geplanten nächtlichen Kontrollen (Erfassung der Säuger). Insbesondere bei den vollständig umzäunten PV-Parks muss die Zugänglichkeit entsprechend geregelt sein (z.B. Ansprechpartner vor Ort, Überlassung von Schlüsseln etc.). Dies stellte sich aus verschiedenen Gründen in einigen der vorausgewählten PV-FFA als sehr schwierig dar.



6.3 Ausgewählte Untersuchungsgebiete

Ausgehend von den oben dargestellten Kriterien wurden insgesamt 6 PV-FFA für die geplanten Untersuchungen ausgewählt (vgl. Tabelle 6, S. 44). Dabei mussten auch die engen zeitlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden.

Darüber hinaus wurden im Laufe der Bearbeitung des Vorhabens bundesweit weitere PV-FFA aufgesucht (u.a. Sachsen: Standorte in Borna, Espenhain, Schleswig-Holstein: Reußenköge und Bayern: Sonnen, Neuenmarkt), die jedoch nicht in die systematischen Untersuchungen einbezogen wurden.

Bis auf den Standort Kleinwulkow in Sachsen-Anhalt liegen alle systematisch untersuchten Parks in Bayern. Einige weitere in der engeren Auswahl befindliche Standorte in anderen Bundesländern mussten verworfen werden, da z.B. keine Zutrittsmöglichkeit bestand (aktuell laufende Arbeiten auf dem Betriebsgelände, keine Aufsichtsperson ortsnah präsent). An einem Standort wurde durch die Aufbringung von unbelastetem Oberboden auf eine ehemalige Deponiefläche sowie die nächtliche Sicherung mit Wachhunden die ursprünglich angenommene Eignung für die geplanten Untersuchungen verworfen.

Die Dominanz von bayerischen PV-Freiflächenanlagen steht zwar im Widerspruch mit dem Kriterium 2 (Politische Lage), ist jedoch aus unserer Sicht vertretbar, da die große Mehrheit der geplanten und realisierten PV-Freiflächenanlagen in diesem Bundesland liegt (vgl. Abbildung 2). Gleiches gilt für die naturräumliche Lage.

In Bezug auf die Vornutzungen dominieren ehemalige Ackerflächen. Nur der Standort Hemau liegt auf einer (militärischen) Konversionsfläche. Die Hinzunahme eines weiteren Projektgebiets auf Konversionsflächen (z.B. Tagebau, Militär) mit vorhabensbedingt nicht erheblich verändertem Untergrund (z.B. durch Bodenaufgabe oder Schotterung) konnte aufgrund der engen Terminvorgaben nicht mehr realisiert werden.

6.3.1 Kurzcharakteristik der Untersuchungsgebiete

In der nachfolgenden Tabelle sind die untersuchten Standorte sowie einige für die Beurteilung wesentliche Merkmale der PV-FFA dargestellt. Eine Übersichtskarte findet sich im Anhang.



Tabelle 6: Übersicht der Untersuchungsgebiete

	Marktstetten	Neuenmarkt II	Kleinwulkow	Erlasee	Hemau	Mühlhausen
Lage	Neumarkt Opf.	Kulmbach	Genthin	Main-Spessart-Kreis	Regensburg	Neumarkt Opf.
Peak-leistung	1.584 kWp	insg. 583,2 kWp	101,6 kWp	12000 kWp	3.965 kWp	6269 kWp
in Betrieb seit	Ende 2001	2003	2002-2004 (abschnittsweise)	Ende 2004	Anfang 2003	Ende 2004
Betriebs-fläche (ha)	ca. 8 ha	ca. 3 ha	ca. 4 ha	ca. 75 ha	ca. 18 ha	ca. 21 ha
Anlagentyp	fest	fest (Dünnschicht)	2-achsig nachgeführt, Wafer	2-achsig nachgeführt, große Betonsockel, Wafer	fest, Wafer	nachgeführt, 1-achsig, Dünnschicht
Relief	Hanglage	eben	eben	weitgehend eben	eben	weitgehend eben
Vornutzung	Acker	Acker (randlich Feuchtwiese)	Acker	Landwirtschaftliches Versuchsgut (Weinbau)	Militär (Raketenbasis)	Acker
Umland-nutzung	Acker/Siedlung; Gehölzgruppen	frisches/feuchtes Grünland, Ackerbrache, Siedlung, RRB, Baumpflanzung als AE	Wald, Siedlung, Acker	Acker, Feldgehölze	(Nadel)Wald	Ackerland, Grünland, Fluss/Kanal, Spelchensee, Gewerbe
aktuelle Nutzung	Wiese, Hochstauden, nicht eingesät, Schafbeweidung	nicht eingesät Wird regelmäßig gemäht, aber unter Modulen oft Hochstauden, ungleichmäßiger Wuchs	Rohboden, Einsaat/Mahd	Rohboden, nicht eingesät, stellenweise Wiese, beweidet seit 2006	Rohboden, Kiesschüttung, Birsenbestände, Ruderalvegetation, ganzjährig beweidet mit Schafen	Grünland, eingesät, Schafbeweidung
Zaun	Zaun, 10 cm unten offen	Drahtzaun, 10 cm unten offen	Metallzaun, rd. 2 m ohne Durchlässe	nein	ja, bis zum Boden	ja, unten 10 cm offen, mit Metallstangen gesichert
Besonder-heiten	Anlagen auf Holzgestellen mit Betonsockeln	nicht nachgeführte Reihenmodule (Dünnschicht)	Module sind "baumartig" angeordnet	zweiachsig nachgeführt 6 m hohe Mover,	Anlagen auf Holzgestellen mit Betonsockeln	Module werden einachsig nachgeführt
FOTO						



6.4 Praxisuntersuchungen zu Pflanzen und Tieren

6.4.1 Übersicht der durchgeführten Praxisuntersuchungen

Die wesentlichen Ergebnisse der nachfolgend dargestellten Praxisuntersuchungen wurden in die Auswirkungsprognosen in Kap. 7 und Kap. 8 eingearbeitet.

Tabelle 7: Praxisuntersuchungen: Untersuchungsobjekte und Methoden

Objekt	Methode
Groß- und Mittelsäuger	Je 2 Erfassungen der Groß- und Mittelsäuger im Herbst (Scheinwerfertaxation) in 3 PV-Parks und angrenzenden Flächen; Schneespurenanalyse, Befragungen, Zufallsbeobachtungen bei sonstigen Geländearbeiten
Vögel	Regelmäßige Planbeobachtungen der Raumnutzung von Vögeln im Park und in der Nachbarschaft inkl. Beobachtung ziehender Vögel (3 PV-FFA, jeweils rd. 14 Termine)
Wirbellose I: Raumnutzung ausgewählter Gruppen in PV-FFA	Erfassung der kleinräumigen Verteilung von Heuschrecken (als Indikatorart für wärmeliebende Tiergruppen) an 3 Standorten auf Teilflächen Zufallsbeobachtungen an anderen Wirbelosengruppen (z.B. auf den Modulen sich sonnende Fluginsekten)
Wirbellose II: Attraktionswirkung der Module	Einsatz von Klebefolien auf Modulen und Modulattrappen an einem Standort über längere Fangzeiträume (Untersuchung der Attraktionswirkung von PV-Modulen)
Vegetation	Dokumentation der Artenzusammensetzung, Wuchshöhe und –dichte der Vegetation unter und neben den Modulen an 4 Standorten Dokumentation der Einflüsse des Nutzungsregimes (z.B. Beweidung, Mahd)
Landschaftsbild	Beschreibung und Bewertung des Landschaftsbildes (z.B. Veränderungen der Eigenart, Reichweite der Wahrnehmung mit Ableitung von Wirkzonen) von mehreren Standorten im Umfeld von 3 PV-Anlagen

6.4.2 Methodik der Praxisuntersuchungen

Flora/Vegetation

Botanische Untersuchungen wurden auf insgesamt 4 Standorten (Hemau, Mühlhausen, Markstetten, Erlasee) im Zeitraum 14.9. bis 3.10.2005 durchgeführt.

Da alle Standorte noch relativ jung sind (meist 2-3 Jahre in Betrieb, Erlasee sogar noch in der Bauphase), waren noch keine offensichtlich auf die Beschattung durch PV-Module zurückführbare Gradienten in der Vegetation erkennbar. Aus diesem Grund wurden entgegen der ursprünglichen Planung keine Transektaufnahmen der Vegetation durchgeführt.

Auch war der Bodenbewuchs an allen Standorten recht heterogen, was auch auf die baubedingten Veränderungen der Bodenstruktur zurückzuführen ist. Daher wurden Florenlisten der charakteristischen und aspektprägenden Arten erstellt, bei denen hinsichtlich des Wuchsortes differenziert wurde (unter Modulen, zwischen Modulreihen). Die Florenlisten sind nicht vollständig, da nur charakteristische Ausschnitte aus dem Standort bearbeitet



wurden und dies nur bei einer einzigen Herbst-Begehung. Sie dienen als Grundlage für die textliche Bestandscharakterisierung. Die Nomenklatur richtet sich nach [31].

Heuschrecken

Die Raumnutzung durch Insekten wurde an drei Standorten (Hemau, Markstetten, Neuenmarkt II) exemplarisch untersucht. Aufgrund der fortgeschrittenen Jahreszeit kamen nur die Heuschrecken, die im Herbst noch gut erfassbar sind, für eine (halbquantitative) Betrachtung in Frage. Die Heuschrecken wurden insbesondere im Hinblick auf die möglichen Auswirkungen der Beschattung durch die Module auf die Raumnutzung von tagaktiven Tiere untersucht. Da die Untersuchungen im Spätsommer stattfanden, war die Bearbeitung anderer, prinzipiell ebenfalls geeigneter Tiergruppen (z.B. Tagfalter, andere blütenbesuchende Insekten) nicht mehr sinnvoll.

Hierzu wurden im Spätsommer 2005 mehrere Gebietsbegehungen durchgeführt, bei denen ein Teil des Betriebsgeländes transektartig entlang der Modulreihen abgegangen wurde. Die wegspringenden bzw. stridulierenden Heuschrecken wurden dabei möglichst getrennt nach Art und Geschlecht notiert. Dabei wurde erfasst, ob sie sich im besonnten Bereich oder auf der von den Modulen beschatteten Fläche aufhielten. Sofern keine genaue Differenzierung der Artzugehörigkeit möglich war, erfolgte eine Zuordnung zu Sammelkategorien.

Die Länge der Transekte (Modulreihen) sowie die Breite der besonnten und beschatteten Streifen wurde anhand von Schrittlängen abgeschätzt. Am Standort Hemau wurde der Zwischenraum zwischen zwei Modulreihen wegen seiner großen Breite jeweils in zwei Streifen abgegangen.

Tabelle 8: Übersicht der Begehungstermine und Transektlängen bei der Heuschreckenerfassung

Standort	Neuenmarkt II	Hemau	Markstetten
Begehungstermine	6.9.05, 21.09.05	18.9.05	19.9.05
<i>Transektlänge [m]</i>	1743	1.592	406
Verhältnis beschattete : besonnte Fläche (Streifenbreiten in cm)	130 : 90	400 : 300	350 : 350

Ergänzend wurde auch die Heuschreckenfauna des restlichen PV-Anlagengeländes qualitativ erfasst, um einen Überblick über die Gesamtartenzusammensetzung zu erhalten.

Neben den Heuschrecken wurden auch Beobachtungen anderer Insekten notiert, so z.B. auf den Modulen sitzende Insekten bzw. zwischen den Modulen fliegende (oder Blüten besuchende) Tagfalter oder Hymenopteren. Diese werden bei der Ergebnisdiskussion aufgegriffen. Wegen der nur sporadischen Beobachtung erfolgt keine ausführliche Darstellung dieser Zufallsbeobachtungen.

Säugetiere

Die Erfassung der Säugetierfauna (Groß- und Mittelsäuger) erfolgte an den Standorten Hemau und Erlasee, ergänzende Informationen wurden am Standort Kleinwulkow gesammelt.



In Hemau und Erlasee wurden im Herbst 2005 (Hemau 13.9.05, 3.10.05; Erlasee 2.10.05, 29.10.05) jeweils zwei nächtliche Kontrollen nach der Methodik der Scheinwerfertextation vorgenommen. Dabei wurde das Gelände auf vorher festgelegten Routen langsam mit dem Pkw abgefahren und mit einem starken Scheinwerfer (Reichweite ca. 100 m) abgeleuchtet. Dabei beobachtete Säugetiere wurden notiert. Am Standort Erlasee wurde eine etwa gleich große Fläche in direkter Nachbarschaft der PV-Anlage abgeleuchtet. Wegen der isolierten Lage innerhalb eines Waldgebietes war dies am Standort Hemau nicht möglich.

In Kleinwulkow wurde am 25.1.06 ein Ortstermin durchgeführt. Zusätzlich wurde der Betreiber und Eigentümer der Anlage befragt. Systematische Untersuchungen waren nicht möglich, da entgegen der Vorinformationen das Gelände mittlerweile komplett eingezäunt ist. Detaillierte Informationen zur Nutzung des Geländes durch Säugetiere vor und nach Einzäunung konnten aus einem Gespräch mit dem Eigentümer der Anlage entnommen werden.

Ergänzend wurden an den Standorten Hemau und Erlasee bei Schneelage mehrfach Schneespuren von Säugern gesucht bzw. aufgenommen. Weitere ergänzende Säugerbeobachtungen erfolgten während der ornithologischen Kontrollen bis zum Juni 2006.

Vögel

Die systematische Untersuchung möglicher Auswirkungen auf Vögel fand an den Standorten Hemau, Mühlhausen und Erlasee statt. Ergänzende ornithologische Beobachtungen wurden an den Standorten Markstetten und Neuenmarkt II getätigt. Vom Standort Kleinwulkow liegen einige ornithologische Beobachtungen Dritter vor.

Die Erfassung wurde Ende September 2005 begonnen und bis Mitte Juni 2006 fortgeführt. Die Standorte wurden dabei alle 2 Wochen (Zug- und Brutzeit) bzw. 4 Wochen (Winter) in den frühen Morgenstunden aufgesucht. Insgesamt wurde jeder Standort dabei 14 mal kontrolliert (vgl. Tabelle 24 im Anhang). Über einen Zeitraum von etwa 4 Stunden hinweg wurden von verschiedenen Stellen am Rand bzw. innerhalb des Geländes alle Vögel bezüglich ihres Aufenthaltsortes und auffälliger Verhaltensweisen registriert. Dabei wurde innerhalb der Anlagen danach differenziert, ob die Vögel auf den Modulen saßen oder sich zwischen den Modulreihen oder neben diesen aufhielten. Bei überfliegenden Tieren wurde die ungefähre Flughöhe über der Anlage notiert. Bei Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-Anlagen wurde zum einen deren Abstand zur Anlage aufgenommen, zum anderen, ob sie sich im Offenland, Gehölzen oder anderen Biotopstrukturen aufhielten bzw. darüber hinweg flogen. Die aufgenommenen Einzelparameter können den Auswertungstabellen im Anhang (Tabelle 25 bis Tabelle 30 im Anhang) entnommen werden.

Der Standort Mühlhausen ist vollständig von außerhalb einsichtig, ein Betreten des PV-Anlagengeländes war daher nicht erforderlich. An den beiden anderen Standorten wurde auch innerhalb der Anlage kartiert.

Folienfang von Insekten

Im Rahmen der ersten Sitzung der projektbegleitenden Arbeitsgruppe wurde von verschiedenen Mitgliedern festgestellt, dass bei Genehmigungsplanungen wiederholt auf die potenzielle Gefährdung seltener Wasserinsekten verwiesen wird, die aufgrund möglicher Attraktionswirkung von PV-Modulen, die für Wasserflächen gehalten werden könnten, auf



diese aufprallen oder auf diesen landen (Energieverlust). Zu diesem Wirkungspfad sind jedoch bisher keinerlei konkrete Untersuchungen bekannt, die derartige Effekte belegen oder sie quantifizieren können. Das Vorhaben wurde aus diesem Grund im Frühjahr 2006 um das Untersuchungsmodul „Attraktionswirkung auf Insekten (insbesondere Wasserinsekten)“ ergänzt.

Aufgrund der aus fachlicher Sicht komplexen Fragstellung und der bisher fehlenden Untersuchungen zu diesem Wirkungskomplex wird die Methodik im Folgenden ausführlich dargestellt.

Untersuchungsmethode

Da die PV-Module nicht beschädigt werden durften und somit nicht direkt mit Insektenleim bestrichen werden konnten, wurden zur Erfassung des Insektenanflugs mit Leim bestrichene, transparente Folien auf die Module aufgelegt. Dabei sollte insbesondere die Vermutung geprüft werden, ob für zeitweise wasserlebende Insektengruppen (z.B. Wasserkäfer, Wasserzikaden, Köcherfliegen, Eintagsfliegen, Schlammfliegen, Steinfliegen etc.) eine besondere Attraktionswirkung besteht. Aber auch die Nutzung der Module aus anderen Gründen sollte möglichst anhand der Ökologie/Gildenzugehörigkeit der gefangenen Taxa abgeleitet werden, so z.B. eine Nutzung als Sonnplatz (z.B. Tagfalter, Libellen) oder als Jagdsitz (z.B. Raubfliegen, Schnepfenfliegen).

Am zunächst anvisierten, wegen seines Reichtums an Kleingewässern besonders geeigneten Standort Hemau war aufgrund befürchteter Ertragsminderungen kein Einverständnis des Betreibers zu bekommen. Zustimmung und Unterstützung gab es hingegen vom Bürgersolarverein zum Standort Neuenmarkt II, an dem die Studie dankenswerter Weise durchgeführt werden konnte.

Am Standort Neuenmarkt II, in dessen näherer Nachbarschaft ein Stillgewässer vorhanden ist, wurden insgesamt vier PV-Modultische mit Fangfolien ausgestattet. Außerdem wurde neben den PV-Modulen eine Holzplatte angebracht, die als Referenzfläche ebenfalls mit einer Folie bedeckt und mit Insektenleim fängig gemacht wurde. Verwendet wurden transparente Polyesterfolien der Firma Bleher Folientechnik (Ditzingen) (OPTIMONT[®], Qualität 350, klar, Stärke 175 micron) und Insektenleim der Firma Temmen GmbH (Hattersheim). Die Fläche eines PV-Moduls (inkl. Rahmen) betrug 92 x 92 cm. Die Referenzplatte war gleich groß. Sie bestand aus einer wasserfesten Siebdruckplatte mit einer braunroten Lackierung, die der Farbe der PV-Module am Standort Neuenmarkt II sehr nahe kam. Die Holzplatte wurde mit Schrauben und Winkel an der Halterungsschiene für die PV-Module, direkt neben diesen angebracht (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17). Die Polyesterfolie wurde auf die Module gelegt und ringsum mit schwarzem Gewebeklebeband abgeklebt.

Bei den Modulen handelt es sich um Dünnschicht-Solarmodule vom Typ KANEKA 54. Sie sind mit einem Neigungswinkel von 30° in Reihen auf Metallschienen installiert.

Die Folien wurden in etwa einwöchigem Turnus ausgewechselt (siehe unten). Insgesamt gab es 8 Fangzeiträume zwischen dem 25. April und dem 16. Juni 2006. Dabei waren die Folien insgesamt 44 Tage fängig. Der Folienwechsel war nur bei trockener Witterung und geringem Wind möglich, weshalb die Fangzeiträume unterschiedlich lang waren. Der Fangzeitraum



orientierte sich an der Flugzeit der Wasserkäfer, die sich schwerpunktmäßig über den Zeitraum (März)April-Juni erstreckt.

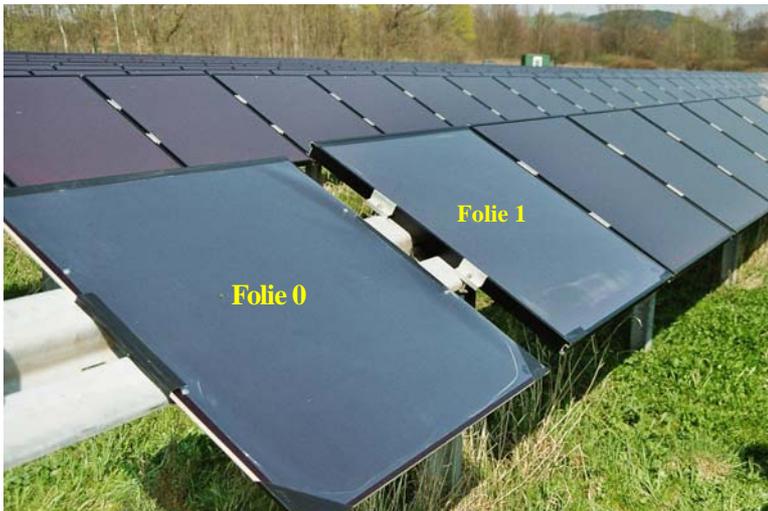


Abbildung 16: Fangfolien am Standort Neuenmarkt II

Im Vordergrund Folie 0 auf der Referenzfläche (eine lackierten Spanplatte), dahinter Folie 1 auf einem PV-Modul. Übrige Module ohne Fangfolien.



Abbildung 17: Fangfolie 4 am Standort Neuenmarkt II

Die Folie reflektiert anders als die benachbarten Module ohne Folienuflage und auch anders als die links erkennbaren Metallschienen des Gerüsts. Westlich des Zauns befindet sich ein Stillgewässer



Tabelle 9: Übersicht der Fangzeiträume und der Witterungsverhältnisse

Nr.	Fangzeitraum	Fangtage	Witterung	
1	25.04.06 – 2.05.06	7	wechselnd regnerisch bis sonnig	
2	2.05.06 - 5.05.06	3	warm, sonnig, kaum Regen	
3	5.05.06 – 9.05.06	3	warm, sonnig, bedeckt	
4	9.05.06 - 14.05.06	5	teilweise heftige Regenschauer, teils sonnig, 18 – 23 Grad	
5	14.05.06 19.05.06	-	5	mehrtägiger Dauerregen, Gewitter
6	26.5.06 – 1.06.06	6	heftiger mehrtägiger Dauerregen, teilweise Hagelschauer, sehr kalt	
7	1.06.06 – 9.06.06	8	nach mehreren Tagen Dauerregen, zwei Tage sonniges Wetter bei 24 Grad	
8	9.06.06 – 16.06.06	7	heiß, sonnig, nur leichte Schauer	

Die jeweils 5 Folien pro Fangperiode wurden im Gelände zu einer Röhre gebogen, mit Klammern bzw. Tesafilm verbunden und dann jeweils einzeln in Plastiksäcke überführt. Mit Hilfe von Stützkreuzen aus Wellpappe wurde verhindert, dass die Rollen beim Transport zusammenfallen und verkleben. Im Labor wurden die Folien wieder ausgebreitet und für die Auszählung unter dem Binokular in jeweils etwa 20 handlichere Stücke zerschnitten. Die Auszählung der Taxa erfolgte mittels Strichlisten. Wasserkäfer, Wasserwanzen sowie weitere für die Fragestellung relevante Artengruppen wurden mit der Pinzette abgelöst, in Gläschen mit Alkohol überführt und später soweit möglich bis auf Artniveau bestimmt. Die ausgezählten Folien wurden danach entsorgt, da eine Aufbewahrung nicht praktikabel ist.

Ursprünglich war geplant, unterhalb der Module Fangrinnen anzubringen, um möglicherweise nach dem Aufprall herunterrutschende Insekten aufzufangen. Wegen der geringen Neigung der Module am Standort Neuenmarkt II (30°) schien dies jedoch wenig erfolgversprechend. Diese Methode sollte künftig an anderen Standorten zum Einsatz kommen.

Verwendet wurde insbesondere folgende Bestimmungsliteratur: Für Käfer: [27], [49], für Wanzen: [45], [70], [63].

Aufgetretene methodische Probleme

- Beim ersten Fangzeitraum erfolgte noch keine vollständige Abklebung der Folien (alle Ränder), was zur Folge hatte, dass Regen- bzw. Kondenswasser zwischen Folie und Modul gelangen konnte. Auch später entstand stellenweise immer wieder einmal Kondenswasser, wodurch die angestrebte „Unsichtbarkeit“ der Klebefolie vermindert war.
- Die Referenzplatte heizte sich stärker auf als die PV-Module. Dadurch trocknete sie auch nach Regenfällen deutlich schneller, der zwischen Platte und Folie gebildete



Wasserdampf verschwand damit auch schneller als bei den PV-Modulen mit Folie. Damit war die Referenzplatte vermutlich insgesamt länger fängig als die PV-Module.

- Bei der Referenzplatte wurde mit der Zeit Farbe aus der Holzplatte freigesetzt, die möglicherweise zu einer veränderten Reflexion der Folie an einigen Stellen führte.
- Der Kleber trocknete bei längerer Hitze aus und war dann nur noch wenig klebrig und damit begrenzt fängig.
- Bei sehr starkem Regen wurde der Kleber von den oberen Plattenbereichen nach unten gedrückt. Dadurch kam es teilweise zur Bildung dickerer Kleberansammlungen am unteren Folienrand.
- Die Bestimmung der abgelösten Tiere wird oft sehr erschwert, da diese bei Starkregen häufig beschädigt oder zerstört werden. Auch der an den Tieren haftende Leim erschwert die Bestimmung bei vielen Arten. Der Leim ist nicht alkohollöslich und wegen des Wachsanteils auch nicht wasserlöslich. Die Tiere können mit Hilfe von Spülmittelzusätzen bzw. mit Öl nur unter längerem mechanischen Einwirken einzeln und auch nur teilweise vom Leim befreit werden.
- Insgesamt werden bei Starkregen viele Tiere so stark zerstört, dass sie bei der Auszählung nicht mehr berücksichtigt werden konnten. Das Gesamtfangergebnis liegt damit niedriger als die tatsächlich gefangene Tieranzahl. Es besteht der Eindruck, dass größere Tiere (z.B. größere Fliegen) stärker der Zerstörung zum Opfer fielen als kleinere.



6.4.3 Ergebnisse der Praxisuntersuchungen

Flora/Vegetation

Bei allen vier Untersuchungsstandorten (Hemau, Markstetten, Neuenmarkt II, Erlasee) erfolgte nach der Installation der Module keine Ansaat.

Bei Hemau handelt es sich um eine militärische Konversionsfläche. Die Module stehen auf Rodungsflächen (vorher Feldgehölze) oder Rohbodenstandorten, stellenweise auch auf ehemaligen Ruderalflächen und Grünland sowie auf versiegelten Wegeflächen. Die Holzgestelle wurden hier wegen der Nässe auf Kiesschüttungen installiert. Der zwischen den Modulen angeschüttete Kies musste später auf Anordnung der Naturschutzbehörde wieder entfernt werden. Die anderen drei Standorte stellen ehemalige Äcker dar. Erlasee war ein landwirtschaftliches Versuchsgut. Am Standort Neuenmarkt II ist eine Feuchtwiese randlich in den PV-Anlagen-Standort einbezogen worden. Aufgrund des geringen Futterwerts der grasarmen (bzw. binsenreichen) Flächen ist bei den Standorten Hemau und Neuenmarkt II eine Wiesenansaat geplant, um die Beweidungsfähigkeit mit Schafen zu verbessern. In Hemau soll dies im „Heudrusch“-Verfahren (Saatgewinnung aus Mähgut) erfolgen.

Markstetten und Hemau unterliegen heute einer extensiven und teilweise gelenkten Beweidung (Portionsweide) mit Schafen (u.a. gefährdete Rassen). Auch am Standort Erlasee erfolgt – vermutlich erst seit 2006 – eine Beweidung mit Schafen im Portionsweidebetrieb. Neuenmarkt II hingegen wird unregelmäßig mit dem Balkenmäher gemäht. Die anfängliche Schafbeweidung war nach Angaben der Betreiber hier nicht erfolgreich.

Die Vegetation zum Kartierungszeitpunkt (Spätsommer 2005) war bei allen vier Standorten noch sehr stark durch die baubedingte Bodenveränderung geprägt. Am Standort Erlasee waren die Bauarbeiten noch im Gange, so dass auf einem Großteil der Anlagefläche offener Boden und Reifenspuren dominierten. Die Florenliste bezieht sich hier nur auf den bereits fertiggestellten und etwas weniger gestörten Teil der Anlage.

Bei allen untersuchten Standorten ist entsprechend der oben dargestellten Vornutzung und der erst kurz zurück liegenden Bautätigkeit eine von Ruderal- und Ackerarten dominierte Pionier-Flora vorzufinden. Eine geschlossene Krautschicht fehlt zumeist, sie ist nur an Stellen vorhanden, an denen die ehemalige Vegetationsdecke weitgehend erhalten geblieben ist (Neuenmarkt II, Hemau). Da zum Kartierungszeitpunkt noch keine auf die Beschattung durch die Module zurückzuführenden Gradienten in der Vegetation erkennbar waren, wurde auf die Anlage von Vegetationstransekten verzichtet. Stattdessen wurden Florenlisten erstellt, die zwischen Vorkommen direkt unter den Modulen und den Modulzwischenräumen unterscheiden (siehe Tabelle 31 bis Tabelle 33 im Anhang).

Am Standort Neuenmarkt II ist die Vegetation relativ arten- und strukturreich. Da die Fläche nur bei Bedarf gemäht wird, können sich Kräuter und Hochstauden gut entwickeln und dominieren gegenüber den Gräsern. Nur im Bereich der (ehemaligen) Feuchtwiese im südlichen Randbereich der PV-Anlage ist eine weitgehend geschlossene, gräserdominierte Vegetationsdecke entwickelt. Direkt unter den Modulen bleiben auch nach der Mahd, bedingt durch die schlechte Erreichbarkeit mit dem Mähgerät, einige Hochstauden wie z.B. Drüsiges



Weidenröschen (*Epilobium ciliatum*) oder Gewöhnlicher Beifuß (*Artemisia vulgaris*) übrig, weshalb hier im Spätsommer eine heterogene Vegetationsstruktur zu finden ist. Im Frühling und Frühsommer ist die Vegetation unter und zwischen den Modulen jedoch gleich hoch und von der Artenzusammensetzung her weitgehend gleich. Dominierende Arten sind Herbst-Löwenzahn (*Leontodon autumnalis*), Wiesen-Pippau (*Crepis biennis*), Kriechende Quecke (*Elymus repens*), Rotklee (*Trifolium pratense*), Wiesen-Löwenzahn (*Taraxacum officinale* agg.) und Kriechender Hahnenfuß (*Ranunculus repens*). Neben Wiesen- und Ruderalarten sind auch Arten der Ackerbrachen anzutreffen.

Am Standort Hemau steht der Großteil der PV-Module auf künstlichen Schotterflächen; der Schotter wurde bei der Installation aufgebracht, um die Standfestigkeit zu verbessern. Diese Flächen sind häufig nur spärlich bewachsen. Zwischen den Modulreihen ist der ursprünglich aufgebraachte Schotter auf Anweisung der zuständigen Naturschutzbehörde wieder entfernt worden. Die nassen und durch die Befahrung mit schweren Baufahrzeugen verdichteten Flächen werden zu einem großen Teil von der Flatterbinse (*Juncus effusus*) dominiert. Hinzu treten stellenweise Acker-Kratzdisteln (*Cirsium arvense*) und Sumpf-Kratzdisteln (*Cirsium palustris*). Dazu kommen zahlreiche Ruderalarten wie Brombeere (*Rubus fruticosus* agg.), Rainfarn (*Tanacetum vulgare*) oder Tüpfel-Johanniskraut (*Hypericum perforatum*). Entsprechend der Vorgeschichte des Standorts ist die Vegetation sehr heterogen, so kommen kleinflächig auch wiesenartige Bestände, kleedominierte Bereiche oder magere Teilflächen mit Habichtskräutern (*Hieracium* spec.) und Kleinköpfigem Pippau (*Crepis capillaris*) vor. Da die Schafe im Sommer häufig unter den Modulen im Schatten liegen bzw. hier bevorzugt koten, kommen stellenweise verstärkt nitrophytische Hochstauden auf (Große Brennnessel, *Urtica dioica*). Ansonsten sind unter den Modulen viele ruderal Hochstauden anzutreffen, so z.B. Drüsiges Weidenröschen (*Epilobium ciliatum*), Wilde Möhre (*Daucus carota*), Knotige Braunwurz (*Scrophularia nodosa*), Rainfarn (*Tanacetum vulgare*), aber auch Gräser wie Gewöhnliches Rispengras (*Poa trivialis*) oder Kräuter wie Gewöhnliches Leinkraut (*Linaria vulgaris*), Wiesen-Labkraut (*Galium album*), Blutwurz (*Potentilla erecta*) oder Stinkender Storchschnabel (*Geranium robertianum*). Stellenweise kommen Gehölze auf (Korb- und Salweide). Auf Teilflächen werden die stark aufkommenden Binsen und Disteln derzeit gemäht. Mit Hilfe von Heudrusch aus Extensivwiesen des Umlandes soll hier künftig besser beweidbares Grünland entstehen (REBITZER, mdl. Mitt.).

Nur der südliche und nördliche Teil des Standortes Erlasee wurden bei der Kartierung 2005 aufgenommen, da auf den übrigen Teilflächen noch gebaut wurde. Zum Kartierungszeitpunkt existierte auf dem Großteil der Fläche nur eine sehr spärliche und lückige Vegetation. Aufgrund des großen Bodenabstandes und der zweiachsigen Drehung der Module ist eine klare Unterscheidung zwischen der Vegetation zwischen und unter den Modulen nicht möglich. Aspektbestimmende Arten waren Gemeines Bitterkraut (*Picris hiercioides*), Graugrünes Weidenröschen (*Epilobium tetragonum* ssp. *lamyi*), Wilde Möhre (*Daucus carota*), Raue Gänsedistel (*Sonchus asper*) und Kanadisches Berufkraut (*Conyza canadensis*). Vereinzelt waren Kulturarten wie Zuckerrüben und Kulturerdbeere anzutreffen oder typische Ackerwildkräuter wie Acker-Hellerkraut (*Thlaspi arvense*) oder Acker-Krummhals (*Anchusa arvensis*). Im Frühjahr 2006 wiesen viele Flächen nach dem Ende der



Bautätigkeit einen dichteren Bewuchs aus Arten der Ackerbrachen und – randlich - des Grünlandes auf, so dass im Sommer bereits Teile beweidet werden konnten.

Am Standort Markstetten wird beweidet, wobei jeweils Teilflächen mit mobilen Elektrozäunen von der Beweidung ausgeschlossen werden. Die überwiegend lückige Vegetation ist hier stark durch die Beweidungsintensität und die Raumnutzung der Schafe geprägt. Unter den Modulen, die von den Tieren häufig als Lagerplätze genutzt werden, war zum Kartierungszeitpunkt eine höhere, grasreichere Vegetation festzustellen als zwischen den Modulen, wo die Vegetation meist stark abgeweidet war und Kräuter, insbesondere Herbst-Löwenzahn (*Leontodon hispidus*), vorherrschten. Unter den Modulen waren aber auch vielfach letztjährige Blütenstände von Hochstauden zu finden. Aufgrund der Grasarmut will der Schäfer hier künftig einsäen, da die Schafbeweidung sonst auf Dauer problematisch ist. Insgesamt ist die Flora der Fläche noch stark von Ruderalarten wie Gewöhnlichem Beifuß (*Artemisia vulgaris*), Rotem Zahntrost (*Odontites vulgaris*), Drüsigem Weidenröschen (*Epilobium ciliatum*), Zottigem Weidenröschen (*Epilobium hirsutum*) und Kohl-Gänsedistel (*Sonchus oleraceus*) und Arten der Ackerbrachen wie Acker-Gaucheil (*Anagallis arvensis*) und Geruchloser Kamille (*Tripleurospermum perforatum*) dominiert. Typische Wiesenarten wie Wiesen-Fuchsschwanz, (*Alopecurus pratensis*) oder Wiesenbocksbart (*Tragopogon pratensis*) weisen nur geringe Deckungsgrade auf. Stellenweise kommen Sträucher und Gehölze auf (Brombeere, Salweide).

Heuschrecken

Bei der Bearbeitung der 3 Untersuchungsgebiete wurden insgesamt 14 Heuschreckenarten innerhalb der abgezünten PV-Freiflächenanlagen festgestellt. Darunter sind 4 Arten der Roten Liste (inkl. Vorwarnliste, vgl. Tabelle 10). Dies zeigt, dass zumindest auf nicht eingesäten und nicht mit Pestiziden behandelten Betriebsflächen mit heterogener Vegetation auch anspruchsvollere Heuschreckenarten vorkommen können.



Tabelle 10: Übersicht über die Heuschreckenarten an den Untersuchungsstandorten

Artnamen wissenschaftlich	deutsch	RL D	RL BY	Hemau	Marktstetten	Neuenmarkt II
<i>Chorthippus albomarginatus</i>	Weißrandiger Grashüpfer					x/x
<i>Chorthippus apricarius</i>	Feld-Grashüpfer		3		x/x	
<i>Chorthippus biguttulus</i>	Nachtigall-Grashüpfer			x/x	x/x	x/x
<i>Chorthippus brunneus</i>	Brauner Grashüpfer			x/x		
<i>Chorthippus dorsatus</i>	Wiesen-Grashüpfer		V	x/-	x/x	-/x
<i>Chorthippus parallelus</i>	Gemeiner Grashüpfer			x/-	x/x	x/x
<i>Gomphocerus rufus</i>	Rote Keulenschrecke				-/x	
<i>Gryllus campestris</i>	Feldgrille	3	3		x/-	
<i>Mecostethus grossus</i>	Sumpfschrecke	2	2			-/x
<i>Metrioptera roeseli</i>	Rösels Beißschrecke			x/x		x/x
<i>Pholidoptera griseoaptera</i>	Gew. Strauschschrecke				-/x	
<i>Tetrix subulata</i>	Säbel-Dornschröcke			-/x		
<i>Tetrix undulata</i>	Gemeine Dornschröcke			-/x		
<i>Tettigonia viridissima</i>	Grünes Heupferd				-/x	x/x

Erläuterung: RL D = Rote Liste Deutschland (BFN 1998), RL Bay = Rote Liste Bayern (BAYLFU 2003). 2 – stark gefährdet, 3 – gefährdet; x/x = ein Kreuzchen vor dem Schrägstrich bedeutet, die Art wurde unter oder zwischen den Modulen beobachtet. Ein Kreuzchen nach dem Querstrich bedeutet, die Art wurde innerhalb des abgezaunten PV-Anlagengeländes, jedoch im weiteren Umfeld der Module nachgewiesen.

Die Ergebnisse der Transektzählungen von Heuschrecken an den drei Untersuchungsstandorten sind in Abbildung 18 bis Abbildung 21 dargestellt. Erwartungsgemäß ist bei allen Arten, die in relevanter Individuenzahl vorkommen (alle *Chorthippus*-Arten), erkennbar, dass die besonnten Streifen gegenüber den von den Modulen beschatteten Streifen deutlich bevorzugt werden. Dies gilt sowohl für die singenden Männchen (M) als auch für die übrigen Tiere (Weibchen (W), nicht singende Männchen, Larven). Neben trockenheitsliebenden Arten wie *Chorthippus biguttulus* und *Chorthippus brunneus* ist der Effekt auch bei mesophilen Arten (*Chorthippus parallelus*) und feuchtigkeitsliebenden Arten (*Chorthippus dorsatus*, *Chorthippus albomarginatus*) feststellbar. Bei Arten, die nur mit wenigen Individuen in den Transekten vorkamen, kann keine Aussage gemacht werden.

Damit ist offensichtlich, dass die Module aufgrund ihrer Beschattung die Raumnutzung bei den meisten untersuchten Heuschreckenarten beeinflussen.

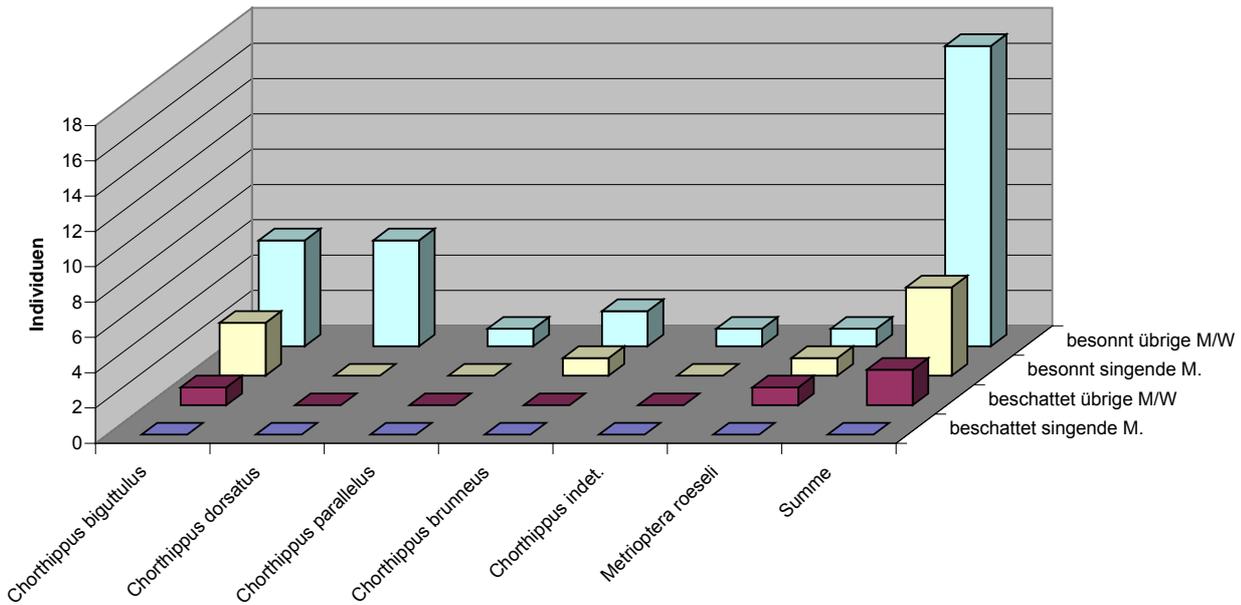


Abbildung 18: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Hemau (September 2005)

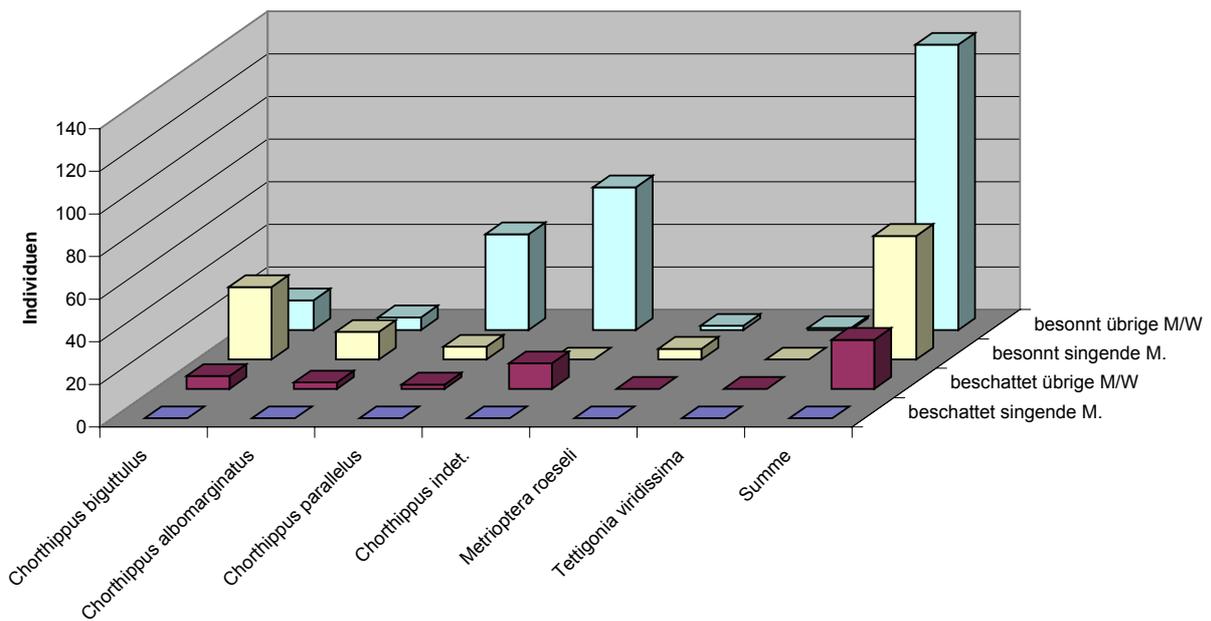


Abbildung 19: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Neuenmarkt II (September 2005)

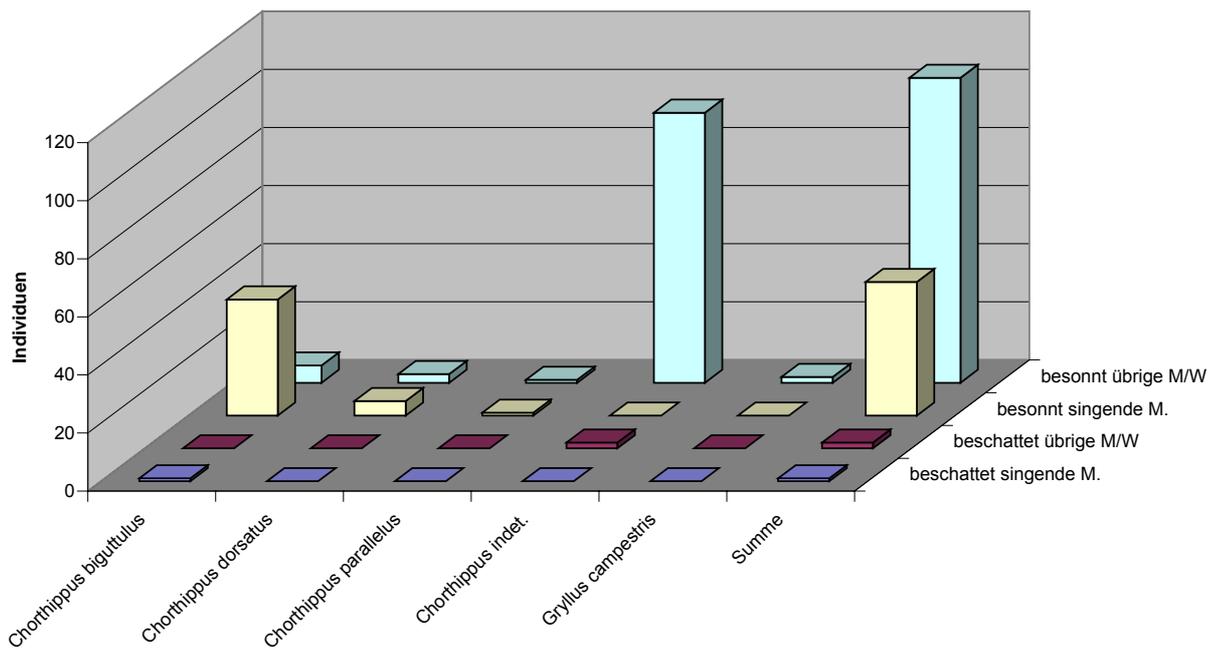


Abbildung 20: Raumnutzung der Heuschrecken in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule am Standort Markstetten (September 2005)

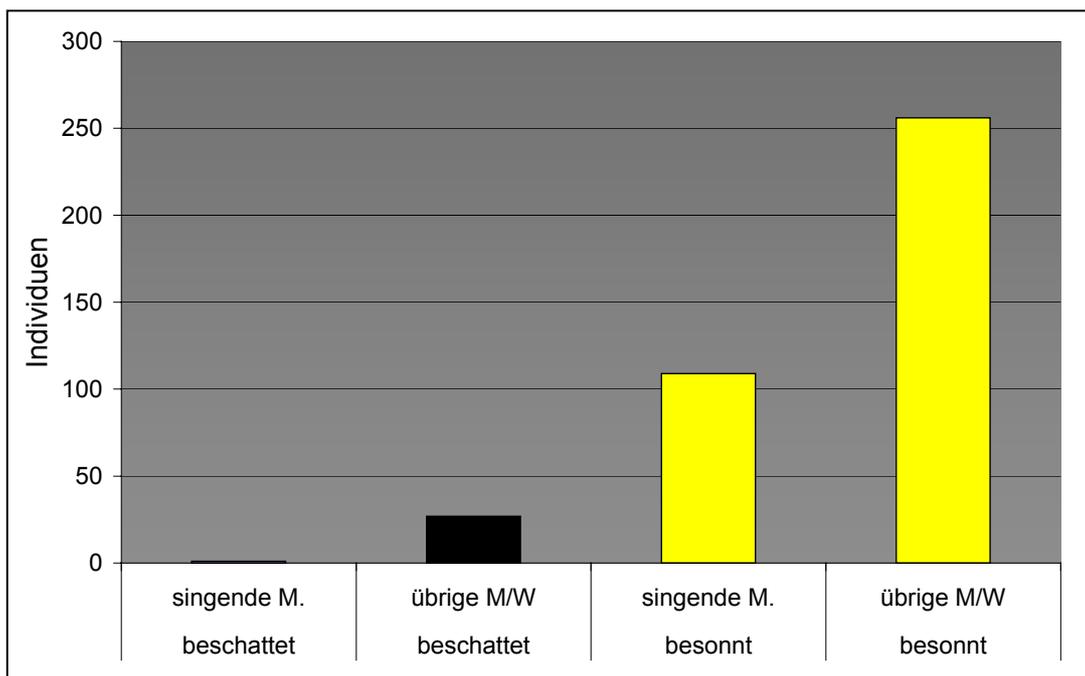


Abbildung 21: Raumnutzung der Heuschrecken (in Abhängigkeit von der Beschattung durch Solarmodule -Summe aller drei Standorte und Arten (September 2005)

Säugetiere

Im Rahmen der Säugetieruntersuchung waren zwei Fragestellungen relevant. Zunächst sollte eingeschätzt werden, ob die Aufstellung von PV-Modulen zu einer veränderten (z.B. verringerten) Nutzung der betreffenden Flächen durch Mittel- und Großsäuger führt, z.B.



durch eine Scheuchwirkung der Module. Zum anderen sollte die Auswirkung der Einzäunung der meisten PV-Freiflächenanlagen auf die Nutzbarkeit für Säugetiere eingeschätzt werden. Am Standort Erlasee, der nicht eingezäunt und somit frei betretbar ist, konnten problemlos auch Bestandsdichten über Scheinwerfertextation ermittelt werden. Am Standort Hemau, der eingezäunt, aber auf den bestehenden Wegen gut befahrbar ist, war ebenfalls eine Scheinwerfertextation möglich. Zudem konnte hier die Durchlässigkeit der Zaunanlage für Säugetiere über Schneespuren geprüft werden. Der Standort Kleinwulkow, der nach unseren Vorinformationen ebenfalls offen sein sollte, ist seit 2004 aufgrund von massiven Moduldiebstählen eingezäunt, so dass hier auf eigene Erfassungen verzichtet werden musste. Die Ergebnisse der Befragung des Anlagenbetreibers und eines Ortskenners konnten jedoch einfließen.

In Tabelle 11 sind die an den drei Standorten festgestellten Säugetierarten zusammengestellt. Nicht aufgeführt sind Kleinsäuger und Fledermäuse, die sicherlich an allen Standorten vorkommen, für die Fragestellungen des Projektes jedoch als nicht relevant eingestuft wurden.

Tabelle 11: Übersicht über die Säugetierarten an den Untersuchungsstandorten

Artnamen wissenschaftlich	deutsch	RL D	RL BB	RL BY	Hemau	Erlasee	Kleinwulkow
<i>Lepus europaeus</i>	Feldhase	3	3		x	x	x
<i>Capreolus capreolus</i>	Reh					x	x
<i>Sciurus vulgaris</i>	Eichhörnchen					x	
<i>Vulpes vulpes</i>	Fuchs				x	x	x
<i>Dama dama</i>	Damhirsch						x

Erläuterung: RL D = Rote Liste Deutschland (BFN 1998), RL BY = Rote Liste Bayern (BAYLFU 2003), RL BB = Rote Liste Brandenburg.

Die Ergebnisse der Scheinwerfertextation an den beiden Standorten Hemau und Erlasee sind in Tabelle 12 dargestellt. Am Standort Erlasee war die Bearbeitung einer gleichartigen Referenzfläche in unmittelbarer Nachbarschaft der Anlage möglich. Hemau liegt innerhalb eines Waldgebietes, so dass hier keine Referenzfläche zur Verfügung stand.

Tabelle 12: Ergebnisse der Scheinwerfertextation zur Erfassung von Säugetieren

Gebiet	Datum	abgeleuchtete Fläche	Reh	Feldhase
Hemau – PV-Anlage	03.10.05	nahezu gesamte Anlage (ca. 15 ha)	-	1
Hemau – PV-Anlage	13.09.05	nahezu gesamte Anlage (ca. 15 ha)	-	1
Erlasee – PV-Anlage	02.10.05	15 ha (1500 m x 100 m)	-	1
Erlasee – Referenzfläche	02.10.05	15 ha (1500 m x 100 m)	3	4
Erlasee – PV-Anlage	29.10.05	15 ha (1500 m x 100 m)	1	-
Erlasee – Referenzfläche	29.10.05	15 ha (1500 m x 100 m)	2	7



Am Standort Erlasee konnte bei der nächtlichen Zählung jeweils nur ein Feldhase bzw. ein Reh beobachtet werden, während auf der Referenzfläche deutlich mehr Feldhasen gezählt wurden. Zum Erfassungszeitpunkt im Herbst 2005 waren die Bauarbeiten auf einem großen Teil der Anlage noch im Gange. Nach Angaben des Jagdpächters Herrn GRÖMLING gingen die Bauarbeiten zeitweise auch in der Nacht weiter, verbunden mit Lärm und starken Lichtquellen. Er hatte auf der PV-Anlagenfläche seit Baubeginn keine Rehe oder Hasen beobachtet.

Im Winter 2005/2006 waren allerdings auf der PV-Anlagenfläche regelmäßig Schneespuren von mehreren Feldhasen, Rehen und Füchsen festzustellen. Auch tagsüber konnten wiederholt Feldhasen zwischen den Movern gesichtet werden. Die Bauarbeiten gingen über den Winter weiter und endeten erst im Frühling 2006. Der Anteil der fertiggestellten Fläche stieg dabei kontinuierlich, so dass wahrscheinlich ist, dass ruhigere Teilflächen sukzessive von den genannten Arten (wieder) genutzt wurden.

Am Standort Hemau ergab die Scheinwerfertextation nur einen einzelnen Feldhasen. Dieser wurde auch tagsüber wiederholt von uns und dem Schäfer beobachtet. Durch Schneespuren im Winter 2005/2006 konnte festgestellt werden, dass der Feldhase nicht auf dem Gelände gefangen war, sondern an mehreren Stellen unter dem Zaun hindurchschlüpfen konnte. Es kann sich damit auch durchaus um verschiedene Tiere gehandelt haben. Die durch Geländeunebenheiten bedingten Durchschlüpfe wurden auch von Füchsen genutzt. Auch Schneespuren einer (streunenden) Katze wurden festgestellt.

Für den Standort Kleinwulkow berichtet der Betreiber, dass vor der Einzäunung Damwild, Rehwild, Fuchs und Feldhase zwischen den Modulbäumen beobachtet wurden. Nach der Einzäunung wurde einmal ein Hase in der Anlage beobachtet.

Vögel

Die systematische Erfassung der Vögel auf drei PV-Freiflächenanlagen und deren näherem Umfeld im Verlauf von 9 Monaten diente vor allem dazu, mögliche Reaktionen von Vögel auf die PV-Module festzustellen. Dabei stand die Vermutung im Mittelpunkt, dass Vögel die reflektierende Moduloberfläche für Wasser halten könnten und es dadurch zu Kollisionen oder Flugbahnänderungen (mit der Folge eines Energieverlustes) kommt. Daneben sollten die übrigen Auswirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf die Raumnutzung durch Vögel untersucht werden.

Eine Übersicht über wichtige Daten zu den Untersuchungsgebieten und die Anzahl von Arten, zu denen insgesamt oder zu bestimmten Parametern Beobachtungen gesammelt werden konnten, gibt Tabelle 13. In

Tabelle 14 sind interessante Beobachtungen zu weiteren, nicht systematisch untersuchten Standorten zusammengefasst.

Die artenbezogenen Detailergebnisse finden sich im Anhang (Tabelle 25 bis Tabelle 30). Dort ist getrennt nach Untersuchungsgebieten für jede Art dargestellt, ob sie innerhalb der PV-Anlagen auf, unter oder neben Modulen oder aber überfliegend beobachtet wurde. Für



Arten, die außerhalb der PV-Anlagen (also in deren Umfeld) beobachtet wurden, ist aufgeführt, in welchen Hauptbiotoptypen sie jeweils festgestellt wurden, ob sie rasteten, auf Nahrungssuche waren oder den Bereich überflogen und in welchen Entfernungsklassen zum PV-Anlagenstandort sie nachgewiesen werden konnten. Es handelt sich hierbei nicht um die Einzelbeobachtungen, sondern um Frequenztabellen, die alle Beobachtungen zu einer Vogelart zusammenfassen.

Zum Verständnis der Detailergebnisse (im Anhang) sind zwei wichtige Anmerkungen zu beachten:

- 1) Die Arten, die „außerhalb“ der PV-Anlagen beobachtet wurden, sind oftmals am gleichen Standort auch „innerhalb“ der Anlage beobachtet worden. Auch Arten, die ausschließlich außerhalb der PV-Anlagen festzustellen waren, sind nicht zwangsläufig als Arten aufzufassen, die die PV-Anlagen meiden. Spezielle (räumliche) Reaktionsmuster auf die PV-FFA (z.B. Einhaltung von Mindestabständen bei der Nahrungssuche/Jagd) konnten bei keiner Art festgestellt werden. Vielmehr ist häufig die vom Anlagenstandort stark abweichende Biotopausstattung des Umfeldes für die genannte Beobachtung verantwortlich, so kommen z.B. im Umfeld der Anlage Erlasee mehrere größere Feldgehölze mit typischen Waldvogelarten wie Kleinspecht und Hohltaube vor, die innerhalb der PV-Anlage nicht zu erwarten sind.
- 2) Aus den Abstandskategorien bei Beobachtungen von Tieren „außerhalb“ der PV-Anlage oder bei der Flughöhe von Vögeln über den PV-Modulen „innerhalb“ der Anlage können keine Mindestabstände im Sinne von Fluchtdistanzen abgeleitet werden. Die Abstände können von der Biotopausstattung und Topographie des Umlandes (siehe oben) oder vom speziellen Flug- und Zugverhalten der Arten abhängen. Umgekehrt kann jedoch aus einer geringen Distanz zu den PV-Modulen und geringen Flughöhen darauf geschlossen werden, dass die PV-Module keine erhebliche irritierende oder abschreckende Wirkungen auf die betreffenden Arten haben.



Tabelle 13: Übersicht über die Ergebnisse der ornithologischen Kartierungen 2005-2006

Standort	Mühlhausen	Erlasee	Hemau
Modultypen	nachgeführt, einachsig	zweiachsig nachgeführte Mover	nicht nachgeführt
Standortfläche	ca. 21 ha	75 ha	ca. 18 ha
Modulgröße/ Aufständigung	Module etwa 1m ² groß, einzeln in Reihe, gemeinsam bewegt, auf Metallschienen	<i>Betonsockel, Mover, jeweils 9 Module à ca. 1 m², Höhe eines Modulbaums ca. 6 m</i>	Holzgestelle mit jeweils 9 ca. 1m ² großen PV- Modulen in 3er Reihen übereinander
Umland	Main-Donau-Kanal, Speicherbecken, Äcker, Kleingärten, Feldgehölz	<i>Wälder, Feldgehölze, Äcker, Wiesen, Hof</i>	Kleingewässer und ehem. Bunker innerhalb der PV- Anlage, Nadelwald außerhalb
Arten innerhalb der Anlage	31	30	27
- davon RL-Arten inkl. Vorwarnliste (BY/D)	10/8	10/7	4/4
- davon auf Modulen beobachtet	14	14	10
- davon unter Modulen beobachtet	9	9	6
- davon neben Modulen beobachtet	16	14	15
- davon überfliegend beobachtet	29	23	22
- davon sichere/ver- mutete Brutvögel innerhalb der Anlage	5	9	12
Arten außerhalb der Anlage	43	54	31
- davon RL-Arten inkl. Vorwarnliste (BY/D)	11/8	17/11	5/2
- davon auch in 50m Entfernung von Anlage beobachtet	32	45	24
- davon nicht auch innerhalb der Anlage beobachtet	18	28	12



Tabelle 14: Ornithologische Beobachtungen an weiteren Standorten

Standort	Neuenmarkt II	Markstetten	Kleinwulkow
Modultypen	nicht nachgeführt	nicht nachgeführt	1-achsig nachgeführt
Standortfläche	ca. 3 ha	7,8 ha	unbekannt
Modulgröße/ Aufständigung	Module etwa 1m ² groß, einzeln in Reihe, auf Metallschienen	<i>Holzgestelle mit jeweils 9 ca. 1m² großen PV-Modulen in 3er Reihen übereinander</i>	18 Solarbäume, etwa 9 m hoch
Umland	Siedlung, kleines Rückhaltebecken, Feuchtwiese, Feldgehölz, Fettwiese, Acker	<i>Äcker, Siedlung, Wälder, Hecke</i>	Siedlung, Hallen, Äcker, Nadelwald
Bemerkenswerte Beobachtungen	2006: Rebhuhnpaar innerhalb der Anlage; Hausrotschwanz und Goldammer regelmäßig auf den Modulen, auf benachbartem Gewässer (Rückhaltebecken) leben Hausgänse und Stockenten, letztere die PV-Anlagen gelegentlich überfliegend. Grünspecht in angrenzendem Feldgehölz	<i>2005: Goldammer, Bachstelze und Hausrotschwanz innerhalb der Anlage, letzterer auf Modulen. Turmfalke außerhalb jagend, außerdem dort Star und Feldsperling.</i>	2005 eine Turmfalkenfamilie mit flüggen Jungen längere Zeit am Gelände, Bachstelzenbrut an einem der Türme, 2006: Brutverdacht für Schwarzkehlchen, Neuntöter jagend an Solarmodulen (LIPPERT, mdl.)

Als zentrales Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass

- keine Verhaltensbeobachtung gemacht werden konnte, die als eine „negative“ Reaktion auf die PV-Module interpretiert werden könnte. So wurden keine „versehentlichen“ Landeversuche auf vermeintlichen Wasserflächen beobachtet. Auch konnte keine signifikante Flugrichtungsänderung bei überfliegenden Vögel beobachtet werden, die auf eine Stör- oder Irritationswirkung hinweisen könnte. Ebenso war kein prüfendes Kreisen von Zugvögeln (wie bei Wasservögeln, Kranichen etc. vor der Landung) festzustellen, wohl jedoch kreisende Greifvögel auf der Jagd (Mäusebussard) oder Zug (Sperber).
- Es wurden dementsprechend auch keine Kollisionsereignisse beobachtet. Auch Totfunde, die auf Kollision zurückgehen könnten, gelangen nicht. Kollisionsereignisse würden, zumindest bei größeren Vögeln, außerdem zu einer Beschädigung der Module führen. Den Betreibern und Flächenbetreuern sind solche Ereignisse jedoch nicht bekannt.
- Beim Vergleich von PV-Flächen und Umland ist zudem bei keiner Art ein offensichtliches Meidverhalten bezüglich ansonsten als Brut, Nahrungs- oder Rastgebiet gleichwertiger PV-Anlagenflächen erkennbar. Einschränkend ist hier zu sagen, dass einige Offenland nutzende Arten, für die ein Meidungsverhalten anzunehmen ist, nicht in den Untersuchungsräumen nachgewiesen wurden. Insbesondere gilt dies für rastende Kraniche oder Gänse sowie viele Wiesenvogelarten.

Nachfolgend werden bemerkenswerte Beobachtungen und Ergebnisse bezüglich einzelner Vogelgilden und bestimmter Standortparameter näher erläutert.



Verhaltenbeobachtungen an den Solarmodulen

Auf allen untersuchten Solarmodultypen konnten ansitzende Vögel beobachtet werden. Überwiegend handelte es sich um kleine und mittelgroße Singvögel (wie Hausrotschwanz, Goldammer, Meisen, Finken, aber auch Drosseln). Auch größere Vögel wie Mäusebussard, Turmfalke und Rabenkrähe wurden sitzend auf Modulen angetroffen. Dabei saßen die Vögel zumeist auf der obersten Kante, bei Anlagen mit mehreren Modulen auf einem Gerüst (z.B. Erlasee) auch in den waagrechten Zwischenräumen. Bei nachgeführten Modulen wie in Erlasee, Kleinwulkow und Mühlhausen führten Bewegungen der Module nicht zu plötzlichem Auffliegen der Vögel. Größere Vogelarten wie Krähen und Greifvögel saßen bei Modulen mit flachem Neigungswinkel (Nachtposition bei Erlasee, frühmorgens bei Mühlhausen) sehr oft auf den Solarmodulflächen. Insbesondere im Winterhalbjahr nutzten Vögel (beobachtet v.a. bei Mäusebussard, Turmfalke, Rabenkrähe und Dohle) die Module als Sonnplatz, um sich in der Morgendämmerung aufzuwärmen.

Auf den größeren Modulgerüsten in Erlasee, Kleinwulkow und Hemau saßen die Vögel auch im Gerüst selbst, in Erlasee z.B. auf Gestängen und Kabeln auf der Rückseite der Module. In Mühlhausen werden die Module gleichzeitig bewegt, die entsprechenden Seilzüge verlaufen in Metallgehäusen in etwa 50 cm Höhe über dem Boden. Auch auf diesen Gestängen wurden gelegentlich aufsitzende Vögel beobachtet. Einmal konnte (in Erlasee) beobachtet werden, wie Kabel auf der Modulrückseite von einer Kohlmeise angepickt wurden.

In Hemau brüten einige Arten in den Holzgerüsten unter den Modulen. Auch für Kleinwulkow wird von Bruten im Gerüst berichtet (s.u. bei Brutvögeln).

Gelegentlich konnte beobachtet werden, dass die Module als Jagdansitz genutzt werden. Regelmäßig ist dies bei Hausrotschwänzen zu beobachten, aber auch bei Bachstelze und Neuntöter (Kleinwulkow) wurde dies festgestellt. Arten wie Bluthänfling, Kohlmeise oder Goldammer wechselten regelmäßig zwischen dem Ansitz auf Modulen bzw. Modulgerüsten und dem Boden bzw. der Vegetation zwischen den Modulen, wo sie nach Nahrung suchten. Besonders regelmäßig werden die Module als Singwarte genutzt, so von Amsel, Hausrotschwanz, Goldammer, Kohlmeise, Baumpieper, Bachstelze, Bluthänfling, Star, selten auch von der Feldlerche.

Wasser- und Watvögel

Häufig wird die Vermutung geäußert, Wasser- und Watvögel könnten die Solarmodule für Wasserflächen halten und versuchen, auf diesen zu landen. Bei Arten wie den Tauchern wäre das besonders problematisch, da diese nur schwer vom Boden aus wieder auffliegen können (Frau HAXEL, BayLfU, mdl. Mitt.). Von den ornithologischen Untersuchungsstandorten war insbesondere Mühlhausen zur Beobachtung von Wasservögeln geeignet, da sich in Nachbarschaft der PV-Anlage der Main-Donau-Kanal und ein sehr großer Wasserspeicher (Rückhaltebecken) befinden, die nahezu ganzjährig von Wasservögeln besiedelt sind. Wiederholt konnten hier Wasservögel (Stockente, Gänsesäger, Graureiher, Lachmöwe, Kormoran) beim Überfliegen der PV-Anlagen beobachtet werden, weitere Arten wie Höckerschwan und Reiherente flogen in geringer Entfernung vorbei. In keinem Fall wurde eine Flugrichtungsänderung, die als Irritation oder Attraktionswirkung interpretiert



werden könnte, beobachtet. Auf dem Speichersee waren regelmäßig Haubentaucher und Zwergtaucher anwesend, so dass zumindest potenziell die Chance bestand, auch bei diesen Arten einen An- oder Überflug im Bereich der PV-Anlagen zu beobachten, was allerdings nicht gelang.

Am Standort Hemau brüten Stockenten innerhalb des PV-Geländes an Kleingewässern. Am Standort Neuenmarkt II leben in direkter Nachbarschaft der PV-Anlage Hausgänse und Stockenten an einem kleinen Gewässer. In beiden Gebieten erfolgten ebenfalls keine auffälligen Verhaltensbeobachtungen bei Wasservögeln.

Brutvögel

An den Gestellen der Module in Hemau sind zahlreiche Nester zu finden (vgl. Abbildung 22). Hier brüten Hausrotschwanz, Bachstelze und Wacholderdrossel. Auch in Kleinwulkow wurde eine Bachstelzenbrut im Gerüst beobachtet. Die niedrigen Gerüste der Module in Mühlhausen oder Neuenmarkt, aber auch die großen, stark bewegten Gerüste in Erlasee sind eher nicht als Brutplatz geeignet.



Abbildung 22: Vogelnest im Holzgerüst auf der Rückseite eines Moduls in Hemau

Innerhalb der PV-Anlagen selbst konnte eine Reihe von sicheren oder wahrscheinlichen Brutvogelarten festgestellt werden (vgl. Tabelle 11), darunter auch einige gefährdete Arten. So brüten regelmäßig Feldlerchen auf dem Gelände der PV-Anlagen (2006: Erlasee ca. 10 BP, Mühlhausen mind. 5-6 BP). Auch für Rebhuhn (Neuenmarkt), Turteltaube (Erlasee) und Schwarzkehlchen (Kleinwulkow) bestand zumindest Brutverdacht innerhalb der PV-Anlagenflächen. Im direkten Umfeld der PV-Anlagen wurde entsprechend der vielfältigeren Habitatstruktur eine größere Zahl von gefährdeten Brutvögeln festgestellt.

Durchzügler und Wintergäste

Im Rahmen der Untersuchungen sollten besonders auch auf Zugvögel und Wintergäste geachtet werden. Im Grundsatz ist bei Standvögeln eher eine Gewöhnung an neue Anlagen und potentielle Gefahrenquellen anzunehmen als bei Zug- und Gastvögeln, die z.B. erstmalig auf einen bestimmten Anlagentyp treffen. So wäre denkbar gewesen, dass Zugvögel die PV-



Module aus der Entfernung für Wasserflächen und damit Orientierungsmarken oder Rastplätze halten könnten, und dass bei ihnen eine Flugrichtungsänderung oder Kollisionen am ehesten zu beobachten wären. Da die meisten PV-Module konstant in Südrichtung orientiert sind, dürfte die unterstellte Irritationswirkung am ehesten im Frühjahrszug auftreten, wenn die Zugvögel nordwärts fliegen.

Wie oben erwähnt, wurden keinerlei Beobachtungen zu derartigen Verhaltensänderungen gemacht. Neben vielen häufigeren Singvögeln, die vor allem im Herbst meist truppweise auf dem Durchzug beobachtet wurden, erfolgten auch Beobachtungen bemerkenswerterer Arten. Auf der Anlage in Mühlhausen wurden im Frühjahr 2006 Braunkehlchen und Wiesenpieper festgestellt. Auch die Feldlerche war auf dem Zug in Mühlhausen und Erlasee zu beobachten. Diese Arten ziehen eher bodennah und nutzten die PV-Anlagenflächen zur Rast. In größerer Höhe überflogen u.a. ein Silberreiher (Hemau) und ein Sperber (Mühlhausen) die Flächen. Als Wintergäste sind insbesondere Beobachtungen von Saatkrähe (u.a. auf Modulen sitzend), Gänsesäger (überfliegend und längere Zeit auf Speichersee rastend) und Graugans (2 Individuen auf Wiese direkt neben der Anlage rastend, ca. 30-40 m vom Zaun) am Standort Mühlhausen bemerkenswert.

Nahrungsgäste

Die PV-Anlagen werden von vielen Vogelarten als Nahrungsbiotop genutzt. Neben den dort brütenden Arten sind dies vor allem viele Singvögel, die aus benachbarten Gehölzbiotopen zur Nahrungsaufnahme auf die Anlagenfläche fliegen (so z.B. Feldsperling, Goldammer, Star, Amsel, Wacholderdrossel). Insbesondere im Herbst und Winter halten sich auch größere Singvogeltrupps auf den Flächen auf (v.a. Hänflinge, Feldsperlinge, Goldammern). Bei Schneelage erfüllen die PV-Module (v.a. die gering geneigten wie in Neuenmarkt II, Hemau, Mühlhausen) eine besondere Funktion. Da sich unter den Modulen auch nach längerem Schneefall noch schneefreie Bereiche fanden (vgl. Abbildung 23), konnten hier im Winter viele nahrungssuchende Kleinvögel aus der Umgebung beobachtet werden.



Abbildung 23: Schneefreie Bereiche unter Modulen in Mühlhausen



Für Greifvögel stellen die PV-Anlagen keine Jagdhindernisse dar. So wurden Mäusebussard und Turmfalke regelmäßig jagend innerhalb der Anlagen beobachtet (Mühlhausen, Erlasee. Der Mäusebussard flog dabei auch unter Modulreihen hindurch (Mühlhausen). Auch Habicht und Sperber wurden über den Anlagen gesichtet. Am Standort Kleinwulkow hielt sich eine Turmfalkenfamilie mit flüggen Jungvögeln längere Zeit in der Anlage auf. Möglicherweise besteht in den extensiv gepflegten Anlagenflächen ein gegenüber der Umgebung besseres Angebot an Kleinsäugetern. Bei Schneelage im Winter kann dies von besonderer Bedeutung für Greifvögel sein. Dies würde im Grundsatz auch auf Eulen zutreffen, die jedoch im Rahmen dieses Vorhabens nicht untersucht wurden.

Folienfang von Insekten

Auswertung nach systematischen Taxa

Die auf den Klebefolien gefangenen Insekten und Spinnentiere wurden soweit möglich und sinnvoll nach Ordnungen und Familien ausgezählt. In Tabelle 15 sind die Gesamtergebnisse (über die gesamte Fangperiode hinweg) getrennt für die 4 Fangfolien auf PV-Modulen (Nr. 1 bis 4) und die Referenzfolie (Nr. 0) aufgeführt. Wie dort zu erkennen ist, stellen die Zweiflügler (Diptera) mit den beiden Unterordnungen der Fliegenartigen (Brachycera) und Mückenartigen (Nematocera) den weitaus größten Teil der gefangenen Tiere. Hohe Individuenzahlen erreichen außerdem die Fransenflügler (Thripse), Blattläuse (Aphidae) und die Hautflügler (Hymenoptera).

Die übrigen Arthropodengruppen werden zur besseren Lesbarkeit nur in Tabelle 15 im Detail dargestellt. Unter diesen sind die Käfer, Blattflöhe und Spinnen am individuenreichsten im Gesamtfang. Einige Taxa wie Köcherfliegen oder Springschwänze kommen nur mit relativ geringen Individuenzahlen vor. Insbesondere Milben und Springschwänze könnten in den Ergebnissen jedoch unterrepräsentiert sein, da besonders kleine Vertreter beim Auszählen übersehen worden sein können.

In Tabelle 15 ist zudem der Gesamtfang für verschiedene Taxa weiter aufgeschlüsselt, so wurden z.B. bei den Käfern zahlreiche Familien getrennt ausgezählt. Bei den Wanzen wurde zwischen Landwanzen, Wasserläufern und Wasserzikaden unterschieden. Bei den Fliegen wurden z.B. Schweb- (Syrphidae), Waffen- (Stratiomyidae) und Schnepfenfliegen (Rhagionidae) getrennt aufgenommen. Ziel war es, soweit vom Arbeitsaufwand her vertretbar, aufgrund der Ökologie der Artengruppen genauere Angaben zur Art der Nutzung der PV-Module durch die jeweiligen Arthropodentaxa zu erhalten.

Wie aus ersichtlich ist, liegen die Gesamtindividuenzahlen auf der Referenzfolie (Folie 0) innerhalb des Spektrums der Fangfolien auf den PV-Modulen (1-4) an zweiter Stelle. Die höchsten Fangzahlen werden auf Folie 4 erreicht, die am nächsten zum benachbarten Gewässer positioniert war. Die Referenzfolie weicht demnach in ihren Eigenschaften nicht völlig grundsätzlich von den Fangfolien auf den PV-Modulen ab, was aufgrund der gleichen Größe, Neigungswinkel und Farbgebung auch erreicht werden sollte.



Auswertung nach ökologischen Gilden

Eine Gruppe von Organismenarten, die ihre Umwelt auf die gleiche Weise nutzen, wird Gilde genannt. Die Arten innerhalb einer Gilde können zu völlig unterschiedlichen Ordnungen und Familien gehören. So bilden beispielsweise alle blütenbesuchenden Tierarten die Gilde der „Blütenbesucher“. Diese umfasst z.B. Bienen und Schmetterlinge, aber auch Kolibris.

Die auf den Folien in dieser Untersuchung gefangenen Tierarten können nicht alle bestimmten Gilden zugeordnet werden, da der Großteil der Individuen nicht bis auf Artebene bestimmt wurde. Dennoch ist eine grobe Abschätzung und Einordnung von systematischen Einheiten hinsichtlich bestimmter ökologischer Charakteristika möglich (s.u.). Besonders detailliert kann hingegen auf die „aquatischen“ und „semiaquatischen“ Arten eingegangen werden, da viele von ihnen auf Artniveau bestimmt wurden:

Strukturnutzer

Bei einem nicht unwesentlichen Teil der gefangenen Tiere dürfte es sich um Strukturnutzer handeln, die die Modulflächen (und Gerüste) als Strukturelemente ihres Lebensraums zeitweise nutzen. Dazu gehört vor allem die Nutzung als Ruheplatz, z.B. als Zwischenetappe bei Flügen zwischen verschiedenen Teilen ihres Lebensraums. Hierzu dürften Vertreter aus fast allen gefangenen Taxa gehören. Andere Arten dürften die sonnenexponierte Modulfläche als Sonnplatz zum Aufwärmen nutzen. Typisch ist so ein Verhalten bei Libellen, die allerdings auf den Folien nicht gefangen wurden. Im Prinzip ist ein solches Verhalten jedoch bei einer Vielzahl von Insektengruppen zu erwarten (z.B. Käfer, Landwanzen, Zweiflügler). Auch als Jagdansitz dürften die Module (und Gerüste) dienen. Aus der großen Gruppe der Fliegen wurden die Schnepfenfliegen (Rhagionidae) herausgegriffen und getrennt ausgezählt. Diese Tiere sind Ansitzjäger und lauern oft auf Zaunpfählen oder Baumstämmen auf vorbeifliegende Insekten. Ähnlich verhalten sich auch viele andere Gruppen, so die Raubfliegen (Asilidae), die jedoch nicht getrennt aufgenommen wurden. Auch ein kleiner Teil der gefangenen Spinnen (z.B. Springspinnen) dürfte die Module zu Jagdzwecken aufgesucht haben. Dies wird auch bei Raubwanzen und anderen räuberischen Wanzen und einem Teil der Hautflügler der Fall sein. Denkbar ist zudem, dass durch bereits am Leim kleben gebliebene Tiere sekundär Prädatoren oder Aasfresser angelockt worden sind.

Zufallsgäste

Ein Teil der gefangenen Tiere dürfte nur zufällig auf die Folien geraten sein. Hierbei ist vor allem die Verdriftung durch Wind (evtl. auch Regen) als Ursache zu sehen. Insbesondere kleine flugfähige Arten werden bei etwas stärkerem Wind passiv verdriftet. Dazu gehören sicherlich Blattläuse (Aphidae), Fächerflügler (Strepsiptera), Fransenflügler (Thripse), Zikaden, kleine Fliegen und Mücken, kleine Käfer (z.B. Glattkäfer, Moderkäfer, Kurzflügler), Staubläuse, viele parasitoiden Hymenopteren. Aber auch schlechte Flieger wie Eintagsfliegen, Köcherfliegen, Florfliegen und Nichtflieger wie Springschwänze und Spinnen könnten bereits bei leichtem Wind an die Klebefolien geweht werden.



Blütenbesucher

Unklar bleibt, ob die Module wegen ihrer Farbe (einschließlich UV-Reflexion, polarisiertem Licht) auch speziell Blütenbesucher anlocken. Unter den gefangenen Tieren befindet sich eine große Zahl von Blütenbesuchern (z.B. verschiedene Dipteren, Schmetterlinge, Käfer wie Glanzkäfer, Hautflügler wie Bienen). Diese könnten jedoch genauso gut als Strukturnutzer oder als Zufallsgäste auf die Folien gelangt sein. Während der gesamten Projektbearbeitung konnten immer wieder blütenbesuchende Insekten auf Blüten zwischen den Modulreihen beobachtet werden (Schwebfliegen, Tagfalter, Bienen usw.). Es wurde nie beobachtet, dass diese Arten sich auch auf Module gesetzt hätten oder von diesen irritiert worden wären.

„Aquatische Arten“

Von zentralem Interesse bezüglich der Hauptfragestellung dieses Untersuchungsmoduls, der möglichen Attraktionswirkung für Wasserinsekten, sind die hier als Gilde der „aquatischen Arten“ zusammengefassten Insektengruppen. Das sind Arten, die nahezu ihr gesamtes Leben im (oder am) Wasser verbringen und ihren aquatischen Lebensraum nur in bestimmten Phasen zu Dispersionszwecken (Suche nach neuen Lebensräumen) verlassen. Diese werden hier den „semiaquatischen Arten“ gegenübergestellt (s.u.). Beim Fang von „aquatischen Arten“ auf den Folien kann relativ sicher davon ausgegangen werden, dass diese die Folien (bzw. PV-Module) für Wasserflächen gehalten haben müssen, auch wenn eine zufällige Verdriftung herumfliegender Tiere nicht völlig ausgeschlossen werden kann.

Als zugehörig zu dieser Gilde wurden Wasserkäfer im weiteren Sinne (verschiedene Familien) und Wasserwanzen (z.B. Wasserläufer, Wasserzikaden, Rückenschwimmer) angesehen. Tabelle 16 und Abbildung 26 zeigen die Fangergebnisse für Arten aus dieser Gilde. Es handelt sich um insgesamt 16 Individuen aus 7 Arten, davon 2 Wasserwanzenarten aus 2 Familien und 5 Wasserkäferarten aus 2 Familien. Auf der Referenzfolie wurden die meisten aquatischen Tiere gefangen. Mit *Laccobius minutus* und *Hydroporus planus* wurden zwei Arten nur auf der Referenzfläche nachgewiesen. *Hydroglyphus pusillus*, *Helophorus brevipalpis* und *Gerris lacustris* wurden hingegen nur auf den PV-Modulen festgestellt. Bei den geringen Individuenzahlen kann hier jedoch nicht von signifikanten Unterschieden gesprochen werden. Sowohl PV-Module als auch Referenzplatte (bzw. die aufgebrachten Fangfolien) werden offenbar von Wasserinsekten zumindest zeitweise für Wasserflächen gehalten.

Angaben zur Ökologie der nachgewiesenen Arten (u.a. nach [14], [3], [69])

- *Hydroglyphus pusillus* (Gelbbrauner Zwergschwimmer) gehört zu den kleinsten Schwimmkäfern und ist eine sehr häufige Art. Sie gilt als wärmeliebend und bevorzugt sandige Lebensräume. Sie lebt räuberisch in unterschiedlichsten Gewässern.
- *Hydroporus planus* ist eine ebenfalls sehr verbreitete und häufige Art, die eine Vielzahl von Feuchtlebensräumen besiedelt. *Hydroporus*-Arten überwintern als Käfer im oder am Wasser.
- Die beiden Furchenwasserkäfer *Helophorus brevipalpis* und *Helophorus granularis* leben als Pflanzenfresser in und an unterschiedlichsten Gewässern. Sie leben



vorzugsweise im Detritus. Es handelt sich hier ebenfalls um verbreitete und häufige Arten. Die Arten pflanzen sich im zeitigen Frühjahr fort, im Sommer kommt es zu einer Schwärmphase der neuen Generation, die der Besiedlung neuer Gewässer dient. Dabei landen die Tiere oft auf reflektierenden Oberflächen ([3]). Die Larven leben nicht direkt im Wasser, sondern in feuchtem Substrat an Gewässerufeln. Streng genommen könnten diese beiden Arten auch bei der Gilde der „semiaquatischen Arten“ behandelt werden. Da sie jedoch eng an Gewässer gebunden sind und auch die Larven im Uferbereich verbleiben, wurden sie bei den übrigen Wasserkäfern belassen.

- *Laccobius minutus* ist ein typischer Uferbewohner. Er lebt in detritusreichen, vorzugsweise kühlen und sauren Gewässern. Er ist sehr häufig und verbreitet. Die Art ernährt sich vermutlich von Pflanzen.
- Der Gemeine Wasserläufer (*Gerris lacustris*) ist eine überall verbreitete und sehr häufige Art an Teichen und Gräben. Wasserläufer leben räuberisch von Insekten, die ins Wasser gefallen sind. Die Imagines überwintern oft weit entfernt vom Wasser. Eier werden knapp unter der Wasseroberfläche an Pflanzen abgelegt. Die Larven leben wie die Imagines räuberisch auf der Wasseroberfläche.
- Die Ruderwanze *Sigara lateralis* ist eine häufige und verbreitete Art, die eine Vielzahl pflanzenreicher Stillgewässer bewohnt. Die Tiere saugen sowohl Pflanzenteilchen als auch von den Stechborsten zerstößene kleine Wassertiere auf. Die Männchen haben Stridulationsorgane, mit denen sie zur Paarungszeit Weibchen anlocken. Daher werden sie Wasserzikaden genannt. Die Eier werden an Wasserpflanzen abgelegt.



Tabelle 15: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006)
– Summe aller Fangperioden

Taxon	Subtaxon	Foliennummer					Summe
		0	1	2	3	4	
Zweiflügler/Nematocera		2128	1741	1306	1037	2497	8709
Zweiflügler/Brachycera	Schnepfenfliegen	5	2	1		6	14
	Schwebfliegen	8	6			8	22
	Waffenfliegen				1		1
	Sonstige	520	468	325	321	625	2259
Käfer	Prachtkäfer	1					1
	Weichkäfer	1					1
	Laufkäfer	3	3	4	2	5	17
	Blattkäfer	3	3	3	5	10	24
	Marienkäfer	1	1		1	1	4
	Rüsselkäfer	1	1	2		2	6
	Stutzkäfer	1					1
	Moderkäfer	6		1	5	1	13
	Glanzkäfer				1		1
	Glattkäfer					1	1
	Borkenkäfer			1	3	1	5
	Kurzflügler	22	22	27	20	30	121
	"Wasserkäfer"	3	3			2	8
	Sonstige	8	15	7	4	18	52
Schmetterlinge	Imagines	42	44	19	28	35	168
	Raupen					1	1
Eintagsfliegen		1	2			1	4
Köcherfliegen		2				6	8
Fransenflügler		288	190	158	186	295	1117
Blattläuse		136	124	96	85	249	690
Blattflöhe		44	44	39	50	73	250
Wanzen	Landwanzen	7	2		8	9	26
	Wasserwanzen			1	1	1	3
	Wasserszikaden	2	1		1	1	5
Zikaden	Landzikaden	28	24	6	8	28	94
Hautflügler	Ameisen		1				1
	Bienen	1			1		2
	Blattwespen	16	6	3	2	8	35
	Sonstige	188	146	108	126	224	792
Netzflügler	Florfliegen					1	1
	Schlammfliegen		1				1
	Larven					1	1
Staubläuse		17	20	16	22	21	96
Fächerflügler		9	1	2	3	2	17
Springschwänze		1	2	3	2	1	9
Larven unbestimmt		6	3		2	2	13
Spinnen/Weberknechte		57	56	44	52	73	282
Milben		4	3		1		8

Erläuterung: Folie 0 = Referenzfläche, Folie 1-4: Folien auf PV-Modulen



Abbildung 24: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006)

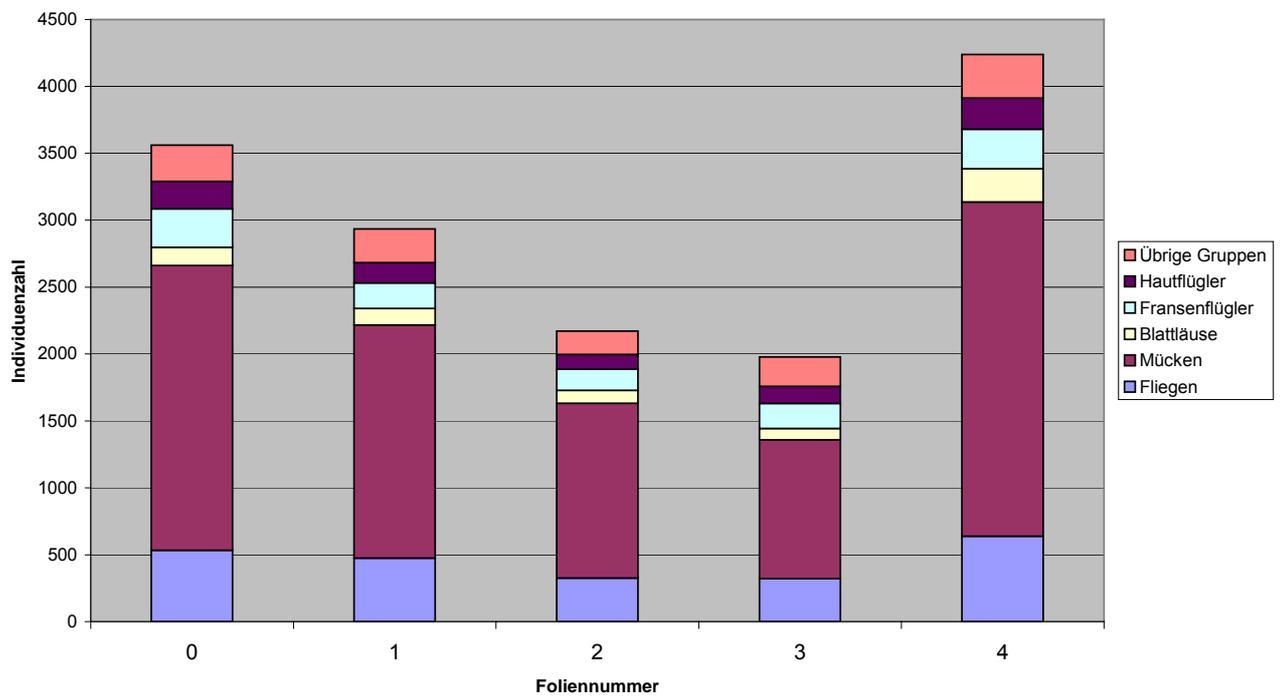
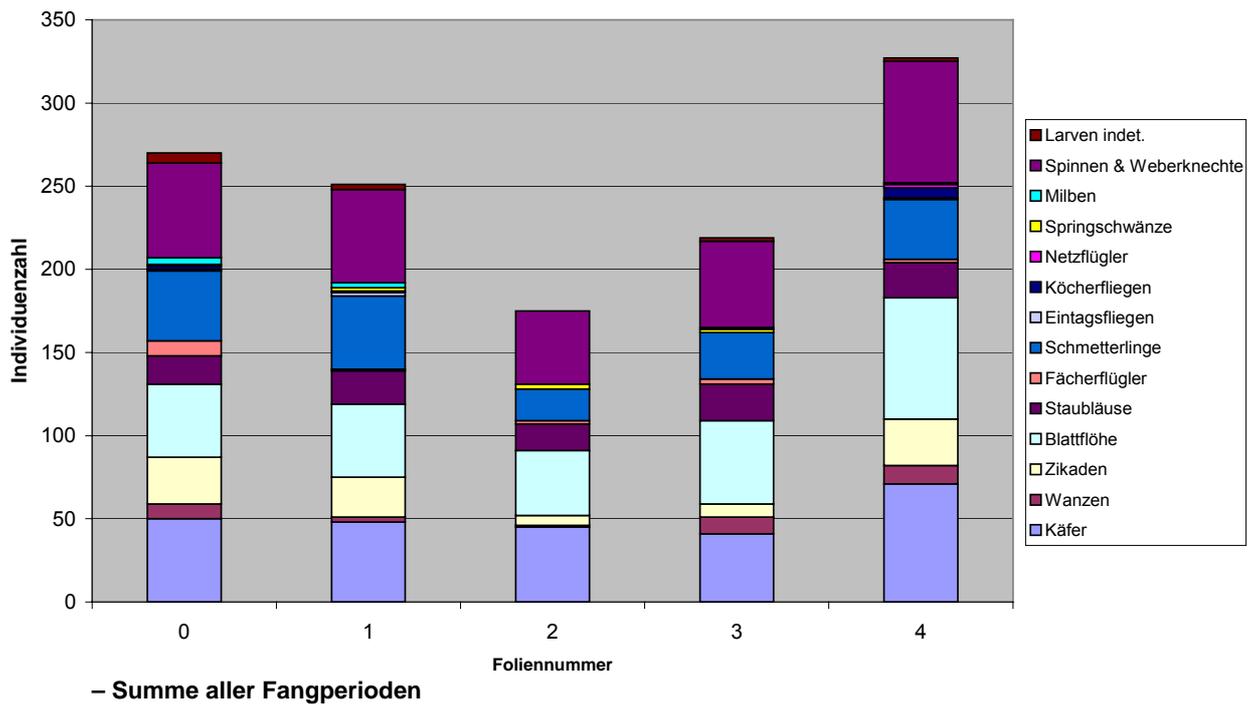


Abbildung 25: Arthropoden auf Fangfolien am Standort Neuenmarkt II (2006)

ohne Mücken, Fliegen, Blattläuse, Fransenflügler und Hautflügler (Summe aller Fangperioden)



Tabelle 16: An Folien gefangene aquatische Arten (Wanzen, Käfer)

Familie	Art wiss./deutsch	RL BY	RL D	Folie 0	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
Coleoptera (Käfer)								
Hydrophilidae (Wasserfreunde)	<i>Helophorus granularis</i>				1 Ind. (9.6.06)			
	<i>Helophorus c.f. granularis</i>			1 Ind. (16.6.06)				1 Ind. (9.6.06)
	<i>Helophorus brevipalpis</i>				1 Ind. (16.6.06)			1 Ind. (16.6.06)
	<i>Laccobius minutus</i>			1 Ind. (9.6.06)				
Dytiscidae (Schwimmkäfer)	<i>Hydroglyphus pusillus</i>				1 Ind. (16.6.06)			
	<i>Hydroporus planus</i>			1 Ind. (9.6.06)				
Heteroptera (Wanzen)								
Gerridae (Wassersläufer)	<i>Gerris lacustris</i>					1 Ind. (9.6.06)	1 Ind. (1.6.06)	1 Ind. (9.6.06)
Corixidae (Wasserskizaden, Ruderwanzen)	<i>Sigara lateralis</i>			1 Ind. (9.6.06)	1 Ind. (9.6.06)			1 Ind. (16.6.06)
	<i>Sigara c.f. lateralis</i>			1 Ind. (16.6.06)			1 Ind. (16.6.06)	

Erläuterung: RL D = Rote Liste Deutschland (BfN 1998), RL BY = Rote Liste Bayern (BayLfU 2003).

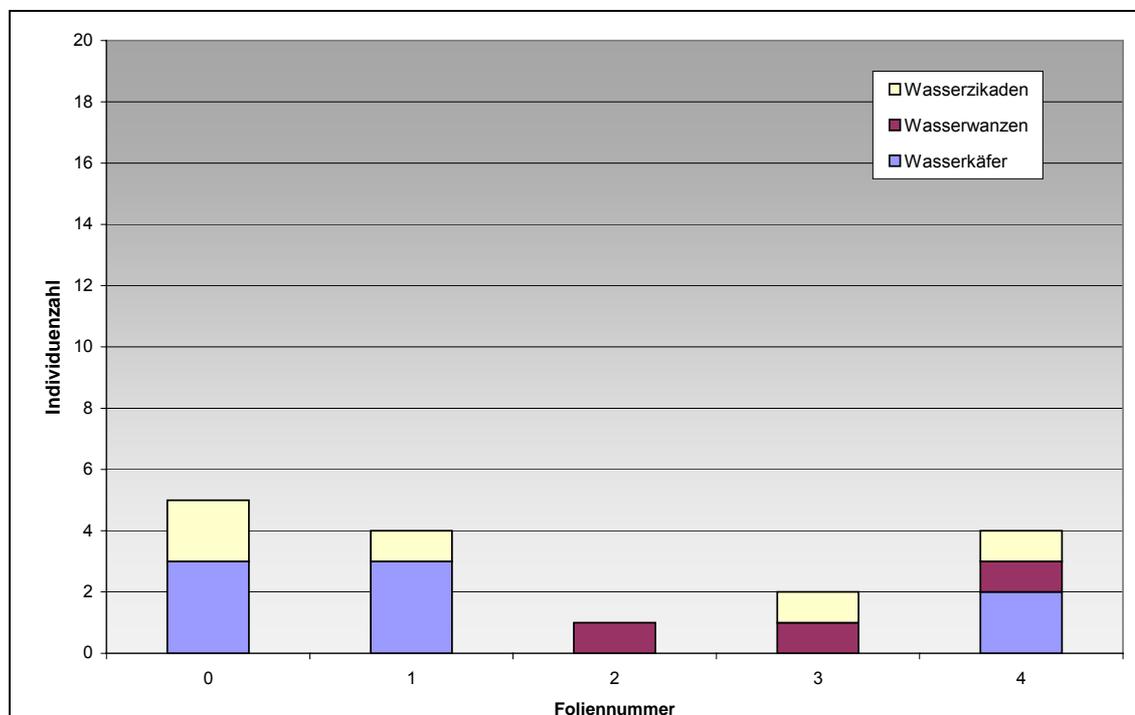


Abbildung 26: Verteilung der Nachweise „aquatischer“ Taxa auf die Fangfolien (2006)



„Semiaquatische Arten“

Als „Semiaquatische Arten“ wurden im Rahmen dieser Auswertung diejenigen Arten definiert, die zwar einen Teil ihres Lebens im Wasser leben, aber relevante Teile ihres Lebenszyklusses auch außerhalb des Wassers verbringen. Hierzu gehören beispielsweise Libellen, Köcherfliegen, Eintagsfliegen, Schlammfliegen, Waffen- oder Schwebfliegenarten mit wasserlebenden Larven, Stech- und Zuckmücken. Nachweise von Imagines dieser Arten an den Fangfolien *können* zwar darauf zurückzuführen sein, dass diese für Wasserflächen gehalten wurden, *müssen* es aber nicht, da diese Arten auch aus anderen Gründen auf den Folien gelandet sein könnten, so z.B. als Blütenbesucher (z.B. Schwebfliegen), zum Aufwärmen (z.B. Libellen, Schlammfliegen), als Ansitzjäger (z.B. Libellen) oder aber zufällig z.B. durch Windverdriftung (z.B. Eintagsfliegen).

Für diese Gilde können nur wenige Tiere aus den Folienfängen angegeben werden (vgl. Tabelle 17). Das liegt vor allem daran, dass aus der großen Gruppe der Zweiflügler mit aquatischen Larvenstadien (die unter anderem alle Mückenarten umfasst) nur sehr wenige Taxa getrennt ausgezählt wurden. Dazu gehören die Waffenfliegen und die Schwebfliegen.

Unter den gefangenen Schwebfliegen waren allerdings keine Arten aus Gattungen mit wasserlebenden Larven (Rattenschwanzlarven, z.B. Gattungen *Helophilus*, *Eristalis*). Es handelte sich fast ausschließlich um Arten der Unterfamilie Syrphinae mit blattlausfressenden Larven.

Bei der einzigen gefangenen Waffenfliege handelte es sich um *Microchrysa polita*, einer Art, deren Larven sich in Dung, feuchter Erde und verwesenden Pflanzenresten entwickeln. Es ist von einigen dungbewohnenden Arten (v.a. Käfer) bekannt, dass sie ebenfalls polarisiertes Licht wahrnehmen können. Frischer Dung (z.B. ein Kuhfladen) reflektiert Licht ähnlich horizontal polarisiert wie eine Wasserfläche. Es ist daher anzunehmen, dass sich einige Dungbewohner zur Substratfindung daran orientieren ([35]). Da im Rahmen unserer Studie nicht speziell auf Dungbewohner geachtet wurde und auch nicht bekannt ist, ob *Microchrysa polita* sich in der beschriebenen Weise orientiert, wird diese Art in der weiteren Auswertung nicht berücksichtigt.

Libellen wurden überhaupt nicht auf den Folien festgestellt. Die größeren Arten können sich möglicherweise auch wieder befreien. Libellen sind sehr gewandte Flieger, so dass sie möglicherweise nicht zufällig auf die Folien geweht werden. Es wurden allerdings auch nie sonnende Libellen auf Modulen dieses oder anderer Standorte beobachtet.



Tabelle 17: An Folien gefangene „semiaquatische Arten“

Taxon wissenschaftlich	deutsch	Gattung/ Art	Folie 0	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
Trichoptera	Köcherfliegen	-	je 1 Ind. (1.6.06 & 16.6.06)				je 2 Ind. (14.5.06, 9.6.06 & 16.6.06)
Ephemeroptera	Eintagsfliegen	-	1 Ind. (16.6.06)	2 Ind. (9.6.06)			1 Ind. (16.6.06)
Megaloptera	Schlammfliegen	<i>Sialis</i> spec.		1 Ind. (1.6.06)			

Köcherfliegen und Eintagsfliegen wurden jeweils sowohl auf der Referenzfolie als auch auf PV-Modulen gefangen, die Schlammfliege nur auf einem PV-Modul. Folie 4 mit den meisten Individuen (6 Köcher-, 1 Eintagsfliege) ist dem Stillgewässer neben der PV-Anlage am nächsten gelegen.

Sonstige Arten mit engerem Bezug zu Wasserflächen

Als „sonstige Arten mit engerem Bezug zu Wasserflächen“ werden hier Arten eingestuft, die nicht im Wasser leben, jedoch sehr oft oder hauptsächlich am Rande von Still- und Fließgewässern vorkommen. Auch bei dieser Gruppe kann nicht ausgeschlossen werden, dass die PV-Module bzw. die Fangfolien für Wasserflächen gehalten und darum gezielt angefliegen wurden. Es ist jedoch genauso möglich, dass es sich um Zufallsgäste oder Strukturnutzer handelt. Aus der Vielzahl der von ihrer Ökologie her in diese Gilde gehörigen Arten konnten aus praktischen Gründen (Bestimmbarkeit von verklebten Tieren, Zeitaufwand) nur die Käfer näher betrachtet werden.

Insbesondere die räuberisch am Boden lebenden Laufkäfer waren hierbei von Interesse. Diese fliegen hauptsächlich zum Zwecke der Dispersion und bei typischen Gewässeruferbewohnern kann vermutet werden, dass sie gezielt Wasserflächen anfliegen und daher Rückschlüsse auf die mögliche Attraktionswirkung der PV-Module erlauben. Alle gefangenen Laufkäfer wurden daher auf Artniveau bestimmt. Nur die nach der Ökologie zu dieser Gilde gehörigen Arten werden in Tabelle 18 dargestellt. Außerdem sind in dieser Tabelle Arten aus zwei weiteren Käferfamilien enthalten, ein Kurzflügelkäfer (*Stenus bimaculatus*), der an Gewässerrändern jagt und auf Fortbewegung auf Wasserflächen durch das Spreitungsschwimmen (mit Hilfe von Drüsensekreten) in besonderer Weise angepasst ist sowie zwei Rohrkäfer (*Plateumaris* spp.), die in Röhrichtpflanzen leben und daher regelmäßig an Gewässeruferrändern zu finden sind.

Angesichts der geringen Fangzahlen kann eine Unterscheidung zwischen Referenzfläche und PV-Modulen nicht erfolgen. Auf beiden wurden Tiere aus dieser Gilde gefangen. Das gleiche gilt auch für die übrigen (nicht hygrophilen) Laufkäfer (siehe unten).

Bemerkenswert ist angesichts der geringen Stichprobengröße und der eher durch Landwirtschaft und Siedlung geprägten Umgebung des Standortes das Vorkommen von drei Rote-Liste-Arten.



Tabelle 18: An Folien gefangene „sonstige Arten mit engerem Bezug zu Wasserflächen“

Familie	Artname	RL BY	RL D	Folie 0	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
Laufkäfer (Carabidae)	<i>Acupalpus parvulus</i>	3	V		1 Ind. (9.5.06)			1 Ind. (5.5.06)
	<i>Bembidion lunatum</i>	3	2			1 Ind. (16.6.06)		
	<i>Paratachys cf. bistriatus/micros</i>	3/3	-/2	1 Ind. (1.6.06)	1 Ind. (14.5.06)	1 Ind. (9.5.06)		1 Ind. (9.5.06)
Kurzflügler (Staphilinidae)	<i>Stenus bimaculatus</i>			1 Ind. (5.5.06)				
Blattkäfer (Chrymelidae)	<i>Plateumaris sericea</i>							1 Ind. (9.6.06)
	<i>Plateumaris rustica</i>	V					1 Ind. (9.6.06)	

Erläuterung: RL D = Rote Liste Deutschland (BFN 1998), RL BY = Rote Liste Bayern (BAYLFU 2003).
2 – stark gefährdet, 3 – gefährdet, V - Vorwarnliste.

Angaben zur Ökologie der nachgewiesenen hygrophilen Arten (u.a. nach [49], [14])

- *Bembidion lunatum* ist eine nicht allzu häufige Art. Sie ist feuchtigkeitsliebend und bewohnt bindige feuchte Substrate, z.B. Gewässerufer.
- *Acupalpus parvulus* ist eine hygrophile Art und oft an Gewässerufeln, aber auch in feuchten Wiesen anzutreffen.
- *Paratachys cf. bistriatus/micros*: Beide in Frage kommende und wegen der Beschädigung der Tiere nicht mit Sicherheit determinierbare Arten sind feuchtigkeitsliebend und leben in Feuchtgebieten und an Ufern.
- Der Kurzflügelkäfer *Stenus bimaculatus* (Hellbeiniger Schmalräuber) ist eine häufige und weit verbreitete Art, die räuberisch an Ufern und in Feuchtgebieten lebt.
- Die beiden zu den Blattkäfern gehörenden Rohrkäferarten *Plateumaris rustica* und *Plateumaris sericea* sind feuchtigkeitsliebende Arten. Sie leben als Larven in verschiedenen Röhrichpflanzen (v.a. *Carex*-Arten, *P. rustica* auch in *Cladium mariscus*). Damit kommen sie typischerweise in Sumpfgebieten und an Gewässerufeln vor. Die Larven leben unter dem Wasserspiegel und nehmen Luft aus den Gefäßen der Wirtspflanze auf.

Um die Interpretation der Fangergebnisse bei den hygrophilen Laufkäfern zu erleichtern, werden in der Tabelle 19 auch die übrigen Laufkäfer aufgeführt, die auf den Folien gefangen wurden. Es handelt sich um zwei trockenheitsliebende Arten.

Mit 9 Individuen war *Acupalpus meridianus* die häufigste gefangene Laufkäferart. *Acupalpus meridianus* ist eine eurytope Art, die zwar auch in Feuchtgebieten vorkommt, scheinbar jedoch nicht speziell an Feuchtgebiete und Gewässer gebunden ist. Sie wird meist an trockeneren Stellen, auf Äckern, Ruderalflächen und in Gärten auf lehmigen, kiesigen oder sandigen Böden gefunden.

Bembidion quadrimaculatum ist eine sehr häufige Art. Sie ist trockenheitsliebend und kommt oft auf offenen Sand- und Lehmböden vor.



Tabelle 19: An Folien gefangene „sonstige Laufkäferarten“

Familie	Artnamen	Folie 0	Folie 1	Folie 2	Folie 3	Folie 4
Laufkäfer (Carabidae)	<i>Acupalpus meridianus</i>	je 1 Ind. (2.5.06, 5.5.06, 9.6.06)	1 Ind. (2.5.06)	1 Ind. (5.5.06)	1 Ind. (9.6.06)	je 1 Ind. (2.5.06, 5.5.06, 1.6.06)
	<i>Bembidion quadrimaculatum</i>				1 Ind. (1.6.06)	

Hinweise zur Phänologie

Der Fangzeitraum war auf nur 8 Fangperioden ca. 2 Monaten begrenzt. Damit wurde nur ein Ausschnitt aus dem möglichen Artenspektrum an den Fangfolien erfasst. Der Fangzeitraum war vor allem im Hinblick auf die Hauptflugperiode von Wasserkäfern so terminiert.

Aufgrund der unterschiedlichen Längen der Fangperioden, den jeweils unterschiedlichen Witterungsverhältnissen und den methodischen Problemen (Wasserdampf-Ansammlungen nach Regenfällen, vor allem in den ersten beiden Fangperioden) sind die Fangergebnisse für eine detaillierte phänologische Auswertung nicht geeignet. Wie aus Tabelle 16 bis Tabelle 19 hervorgeht, wurden die Wasserkäfer und Wasserwanzen sowie fast alle Tiere aus der „semiaquatischen Gilde“ in der zweiten Hälfte des Fangzeitraums (Juni) gefangen. Etwas mehr als die Hälfte der Laufkäfer war in den ersten 4 Fangperioden auf den Folien festzustellen.



6.4.4 Diskussion der Praxisuntersuchungen

Im folgenden Text erfolgt eine Diskussion der Praxisuntersuchungen getrennt nach den jeweiligen untersuchten Artengruppen bzw. Schutzgütern. Eine umfassende Diskussion der von PV-FFA ausgehenden Wirkungen (Wirkungsprognose) erfolgt für Arten und Biotope in Kap. 7, für das Landschaftsbild in Kap. 8.

Flora/Vegetation

Mit der Untersuchung der Vegetation der Standorte sollten vor allem mögliche Beschattungseffekte durch die Solarmodule geprüft werden.

Es zeigte sich, dass derzeit an den untersuchten Standorten die Auswirkungen der Baumaßnahmen andere mögliche Effekte noch deutlich überlagern. Durch unterschiedliche Besonnung oder Beregnung bedingte Gradienten in der Vegetation sind noch nicht feststellbar. Die Flächen sind alle noch in einem recht jungen Sukzessionsstadium, ihre Vegetation ist sehr heterogen und weitgehend durch Ruderalarten und Arten der vorangegangenen Nutzung (insbesondere Ackerbau) geprägt. Daneben war eine starke Beeinflussung der Vegetation durch die aktuelle Nutzung (Mahd, Beweidung) feststellbar. Es ist davon auszugehen, dass in den kommenden Jahren, nachdem sich eine stabilere Vegetation etabliert hat, Beschattungseffekte in der Vegetation erkennbar werden, wenngleich diese auch weiterhin von der praktizierten Nutzung überprägt sein werden. Schneller als auf den untersuchten, nicht eingesäten Standorten, dürften Beschattungseffekte auf einheitlich eingesäten Flächen sichtbar werden.

Deutlichere Unterschiede hinsichtlich der Beschattungseffekte sind in Abhängigkeit von den verwendeten Modultypen zu erwarten. Die starren Module wie in Hemau, Neuenmarkt II oder Markstetten, insbesondere niedrige Module wie in Neuenmarkt II, führen zu einer intensiveren Beschattung als die einachsig oder zweiachsig nachgeführten Module bzw. die hoch aufragenden Mover (wie in Erlasee). Bei letzteren ist die Beschattungsdauer der Flächen kürzer, wenngleich eine relativ größere Fläche zeitweise beschattet wird.

Die Beschattung kann z.B. zu einer geringeren Wüchsigkeit der Vegetation im beschatteten Bereich bzw. zu einer Verschiebung im Artenspektrum führen. Wie z.B. in Abbildung 27 gut erkennbar ist, dauert es im Schattenbereich deutlich länger, bis der gefrorene Morgentau auftaut.

Auch die unterschiedliche Luftfeuchtigkeit und Niederschlagsmenge (Regen, Schnee) unter bzw. zwischen Modulen kann sich auf die Vegetation auswirken. Unterschiede in der Luftfeuchte sind vor allem an niedrigen, unbeweglichen Modulen wie in Neuenmarkt II anzunehmen, während sie bei großen Mover-Anlagen wie in Erlasee kaum auftreten. An den Movern war hingegen ein auf bestimmte Bereiche konzentriertes Abfließen von Regenwasser zu beobachten, was zu punktuellen Erosionserscheinungen führte, zumindest im noch nicht von Vegetation bedeckten Boden während der Bauphase. Bei den anderen Anlagentypen mit jeweils etwa 1 m² großen Einzelmodulflächen mit Zwischenräumen zwischen den Einzelmodulen war derartige nicht zu beobachten.



Abbildung 27: Schattenwurf am Standort Erlasee

Im beschatteten Bereich ist noch gefrorener Tau zu erkennen.

Heuschrecken

Die Ergebnisse der Transektzählungen belegen eindeutig, dass die erfassten Heuschreckenarten (*Chorthippus biguttulus*, *Chorthippus parallelus*, *Chorthippus brunneus*, *Chorthippus dorsatus*, *Chorthippus albomarginatus*) sich tagsüber vorzugsweise im besonnten Bereich aufhalten und die durch Module beschatteten Streifen weitgehend meiden.

Zur Einordnung des Ergebnisses ist folgendes zu beachten:

- Neben der Temperatur/Helligkeit kann dieser Effekt auch durch die unterschiedlichen Luftfeuchtigkeitsverhältnisse unter und zwischen den Modulen bedingt sein.
- Der Beschattungseffekt ist nicht bei allen Modultypen gleich. Untersucht wurden nicht nachgeführte Module, die in der Regel relativ tief über der Bodenoberfläche beginnen (ca. 90 cm). Bei nachgeführten Anlagen wird ein insgesamt größerer Bereich beschattet, die Beschattungsdauer ist dann jedoch an den meisten Geländepunkten kürzer. Wenn die Module aufgrund der Bauweise größeren Abstand zum Boden haben wie z.B. bei der Moveranlage in Erlasee, dann dürften auch die Luftfeuchtigkeitsverhältnisse unter und zwischen den Modulen kaum unterschiedlich sein.
- Die Ergebnisse gelten nur für die untersuchten Arten. Es ist denkbar, dass bestimmte hygrophile Heuschreckenarten (z.B. Schwertschrecken, *Conocephalus* spp.) auf die auftretenden Unterschiede bei Temperatur und Luftfeuchtigkeit nicht reagieren.
- Der Beschattungseffekt kann durch andere Effekte wie z.B. die aktuelle Nutzung (Beweidung/Mahd) überlagert werden, wie bei im Kap. Vegetation bereits dargestellt wurde. Aufgrund ihrer hohen Mobilität können Heuschrecken kurzfristig auf diesen Effekt reagieren. Bei anderen Tierarten (z.B. phytophage Insekten) ist eine Reaktion möglicherweise nur mittelfristig feststellbar.
- Die Heuschrecken sind nur als eine – zum Kartierzeitpunkt gut erfassbare – Artengruppe untersucht worden. Grundsätzlich sind entsprechende Effekte auch für



viele andere Artengruppen denkbar und zwar sowohl direkt über die abiotischen Bedingungen als auch indirekt über Änderungen der Vegetation (z.B. Artenspektrum, Wuchsdichte, Wuchshöhe, Blütenhäufigkeit).

- Die gefundene Präferenz der Heuschreckenarten für die besonnten Streifen zum Untersuchungszeitpunkt bedeutet nicht, dass die beschatteten Bereiche keine funktionelle Bedeutung für diese Arten besitzen. Es ist durchaus denkbar, dass beschattete Abschnitte zu anderen Tages- oder Jahreszeiten andere Funktionen erfüllen, so z.B. zur Nahrungsaufnahme, Eiablage oder als Verstecke. Es ist bekannt, dass Heuschrecken innerhalb ihres Gesamtlebensraums im Tages- und Jahresverlauf kleinräumige Wanderungen durchführen (z.B. [23]). Die Ergebnisse zeigen also vor allem einen „den Lebensraum strukturierenden Effekt“ auf.

Säugetiere

Die Ergebnisse und Beobachtungen vom Standort Erlasee weisen darauf hin, dass die vom Baubetrieb ausgehenden Auswirkungen, insbesondere Lärm, Gerüche, nächtliche Lichtemissionen sowie die menschliche Aktivität allgemein, dazu führen, dass die PV-Anlagenfläche trotz fehlender Abzäunung in dieser Zeit von Mittel- und Großsäugern gemieden oder seltener aufgesucht werden. Nach Abschluss der Bauarbeiten bzw. auf ruhigen Teilflächen scheinen die am Standort Erlasee sehr großen Module nach bisherigen Beobachtungen keine abschreckende Wirkung zu haben. Auch in Kleinwulkow mit sehr hohen Modulbäumen wurden vor der Abzäunung vier Mittel- und Großsäugerarten beobachtet. Da die Anlagen nach Fertigstellung nur gelegentlich gewartet oder kontrolliert werden und die Flächen aufgrund der extensiven Nutzung eine geeignete Nahrungsquelle für pflanzenfressende Säuger wie Feldhase und Reh darstellen dürfte, ist davon auszugehen, dass die Flächen mit der Zeit sogar eine hohe Wertigkeit für Mittel- und Großsäuger erreichen werden. An die ohnehin nur geringen Bewegungsgeräusche der Moveranlagen dürften sich die Tiere rasch gewöhnen.

Wie die Beobachtungen in Hemau zeigen, können Mittelsäuger auch kleine Durchlässe in der Umzäunung nutzen, um die Flächen zu besiedeln. Da der Standort Hemau in einem geschlossenen Waldgebiet liegt, können allerdings keine Vergleiche hinsichtlich Bestandsdichten mit nicht eingezäunten Flächen gezogen werden. Hierzu bedarf es weiterer Beobachtungen an Anlagen in der offenen Feldflur. Neben Hemau gibt es aber auch für weitere eingezäunte Anlagen Beobachtungen von Feldhasen (so z.B. Kleinwulkow und Meerane).



Abbildung 28: Doppelte Zäunung am Standort Mühlhausen

Die Umzäunung in Hemau reicht bis zum Boden, ein Durchlass für Tiere ist eigentlich nicht vorgesehen. Die Feldhasen und Füchse nutzen hier die auf Grund von Geländeunebenheiten unabsichtlich entstandenen Lücken. An den meisten neueren PV-Anlagenstandorten beginnt der Zaun aufgrund der Vorgaben der Naturschutzbehörden erst 10 cm über dem Boden. Es zeigte sich allerdings, dass auf schafbeweideten Flächen Jungschafe diese Lücke zum Ausbrechen aus der Anlage nutzen können, weshalb z.B. an der Anlage in Mühlhausen nachträglich entlang des Zauns Metallstäbe gesteckt wurden (WARTNER, mdl. Mitt. 2006). Dort sind nur einzelne Stellen als Durchschlupf für Mittelsäuger ausgelassen worden. Ob das Gelände in Mühlhausen von Mittelsägern besiedelt wird, ist nicht bekannt. Im Rahmen unserer ornithologischen Kontrollen konnten wir dort keine Hasen oder Füchse beobachten. In Mühlhausen, aber auch an anderen Standorten kommt für die Säugetiere erschwerend hinzu, dass um die PV-Anlagenumzäunung herum ein weiterer gegen Wildverbiss eingezäunter Streifen mit Gehölzanpflanzungen (Ausgleichsmaßnahme) verlaufen kann, so dass die Tiere hier zwei Zäune überwinden müssen (vgl. Abbildung 28). Die Wildschutzzäunung wird allerdings nach einigen Jahren entfernt, so dass diese Problematik zeitlich begrenzt ist.

Die Einzäunung der PV-Anlagen erfolgt insbesondere aus versicherungsrechtlichen Gründen. Anlagen mit großen (schweren) Modultypen wie in Erlasee sind offenbar nicht so stark durch Diebstahl von Modulen gefährdet. Allerdings musste Kleinwulkow, ebenfalls eine Anlage mit großen Modulbäumen, wegen der Diebstähle nachträglich eingezäunt werden. Aus säugetierkundlicher Sicht sind nicht eingezäunte Anlagen wie Erlasee zu bevorzugen, da die größeren Arten nicht ausgeschlossen werden. Die großen Betonfundamente der Mover in Erlasee führen allerdings auch dazu, dass umfangreiche und langwierige Bauarbeiten erforderlich sind. Die bauzeitlichen Vertreibungseffekte auf Mittel- und Großsäuger sind jedoch vorübergehend. Bei Anlagen mit kleinen Modultypen ist eine Einzäunung gegenwärtig nicht vermeidbar. Hier sollten punktuelle Zaunlücken (mind. 10 cm Höhe) an geeigneten Stellen unbedingt vorgesehen werden, damit die Flächen für Mittelsäuger zugänglich bleiben.



Denkbar sind mögliche Auswirkungen auf den extrem gefährdeten Feldhamster *Cricetus cricetus*, der im Rahmen dieser Studie nicht untersucht wurde. Die Fläche der PV-Anlage könnte als Lebensraum für diese Art entwertet werden oder verloren gehen, wenn die bisherige Ackernutzung eingestellt wird. Andererseits würde ein Solarpark ggf. auch ganzjährig Rückzugsorte (z.B. für Baue) und Nahrungsquellen (Sämereien von Hochstauden, Insekten etc.) für diese Art bieten.

Nicht untersucht wurden in dieser Studie potenzielle Auswirkungen auf Fledermäuse. Da auch die nachgeführten Anlagen nachts unbeweglich sind und nach unserer Einschätzung Fledermäuse die Module mit ihrer Ultraschall-Ortung problemlos als Hindernis erkennen und auch nachts horizontal ausgerichtete Module wie in Erlasee von Wasserflächen unterscheiden dürften, halten wir ein Kollisionsrisiko für Fledermäuse bei PV-Freiflächenanlagen für sehr unwahrscheinlich. Auch Störungen z.B. bei den Jagdflügen (z.B. durch Emissionen der Module) sind nicht zu erwarten. Konkrete Untersuchungen, die unsere Einschätzung stützen, liegen allerdings bisher nicht vor. Das lokale Nahrungsangebot für Fledermäuse könnte durch die erhöhte Pflanzenvielfalt als Folge der extensiven Grünlandnutzung steigen (Fluginsekten).

Vögel

Die Ergebnisse der Untersuchung stellen eine erste, schon recht umfangreiche Datengrundlage zur Beurteilung dieser Fragestellung dar. Mit den drei ausgewählten Standorten sind verschiedene Modul- und Anlagentypen und unterschiedliche Naturräume und Landschaften einbezogen. Die Untersuchungsperiode von 9 Monaten deckt Brutzeit, 2 Zugzeiten und die Wintermonate ab, weshalb ein breites Spektrum an möglichen Arten einbezogen wurde. Diese Datenbasis sollte dennoch durch weitere Untersuchungen an geeigneten Standorten (z.B. im Rahmen von Genehmigungsverfahren) ergänzt und ggf. verifiziert werden.

Die potenziellen Auswirkungen von PV-Freiflächenanlagen auf Vögel sind insgesamt drei Themenkreisen zuzuordnen:

- 1) Irritationswirkung/Kollision,
- 2) Flächeninanspruchnahme und
- 3) Scheuchwirkung (u.a. Silhouetteneffekt).

Irritationswirkung/Kollision

Im Rahmen unserer Untersuchungen wurden keinerlei Hinweise auf eine Verhaltensänderung bei Vögeln festgestellt, die als Irritation interpretiert werden könnte. Für Kollisionsereignisse fanden sich ebenfalls keine Belege. Dies gilt sowohl für residente Vögel als auch für Zugvögel und Gäste, die die Anlage noch nicht kannten.

Dies bedeutet jedoch nicht, dass derartige Irritationswirkungen grundsätzlich und für alle Anlagentypen und Vogelarten ausgeschlossen werden können. Es ist derzeit nicht sicher



auszuschließen, dass Irritationswirkungen oder Kollisionen in anderen Fällen vorkommen können, und zwar

- bei anderen, bisher nicht untersuchten Vogelarten (z.B. aufgrund artspezifischer Verhaltensweisen, Lebensraumsprüche oder ihres (schlechteren) Flugvermögens),
- bei anderen Gestellen und Modulanordnungen (z.B. bei hoch aufragenden Modulen, bestimmten Neigungswinkeln oder Modulabständen, Verwendung von Drahtseilzügen),
- bei anderen topografischen Bedingungen (z.B. Gebirge, Küsten, Teichgebiete) oder anderen Biotoptypen (auf Anlagenfläche oder im Umfeld),
- bei speziellen Witterungsbedingungen (schlechte Sichtverhältnisse z.B. bei Zugvögeln) und
- nachts (nachtaktive Arten bzw. Nachtzieher wurden aus methodischen Gründen nicht untersucht).

Dennoch halten wir die Gefahr von Kollisionen von Vögeln mit den Modulen oder erheblichen Irritationswirkungen durch PV-FFA insgesamt für sehr gering.

Flächeninanspruchnahme

Mit dem Bau einer PV-Freiflächenanlage ist eine Flächeninanspruchnahme verbunden, die in aller Regel auch Lebensräume von bislang dort vorkommenden Vogelarten betrifft. Durch die Flächeninanspruchnahme kann es naturschutzfachlich gesehen insgesamt sowohl zu positiven als auch zu negativen Auswirkungen hinsichtlich der Avifauna kommen.

Ein Teil dieser Vogelarten kann sicherlich auf den PV-Anlagenflächen weiterhin leben oder brüten. Andere Arten verlieren ihren Lebensraum ganz oder teilweise oder ihr Lebensraum wird beeinträchtigt. Bei häufigen Arten ist das unproblematisch. Seltene Arten können z.B. auf (militärischen) Konversionsflächen oder auf Äckern betroffen sein. Es sollte unbedingt vermieden werden, die Anlage von PV-Freiflächenanlagen in Ackergebieten per se für unkritisch zu halten bzw. als Aufwertung anzusehen. Es ist eine Einzelfallbetrachtung erforderlich, da hochgradig gefährdete Arten wie Großtrappen oder Wiesenweihen möglicherweise sensibel reagieren könnten.

Für eine Reihe von Vogelarten können PV-Freiflächenanlagen jedoch auch positive Auswirkungen haben. Insbesondere in ansonsten intensiv genutzten Agrarlandschaften können die (in der Regel) pestizidfreien und ungedüngten, extensiv genutzten PV-Anlagenfläche wertvolle Inseln sein, die als Brutplatz oder Nahrungsbiotop dienen. Dies gilt z.B. für Arten wie Feldlerche, Rebhuhn, Schafstelze und vermutlich auch Wachtel, Ortolan und Grauammer. Möglicherweise profitieren auch Wiesenbrüterarten, die keine großen Offenlandbereiche benötigen wie Wiesenpieper und Braunkehlchen. Auch für häufigere Arten können solche Standorte besonderen Wert haben, so z.B. wegen der schneefreien Bereiche unter den Modulen und der extensiven Nutzung als Nahrungsbiotope in harten, schneereichen Wintern (Singvögel, Greifvögel). Eine Bewachung der Anlagen mit Hunden (wie an einem Standort in Sachsen) verhindert allerdings eine Nutzbarkeit durch gefährdete Vogelarten weitgehend.



Stör- und Scheuchwirkungen in angrenzenden Lebensräumen

Zu beachten ist auch, dass die PV-Anlagen durch ihre Sichtbarkeit auch auf benachbarte Flächen wirken (Scheuchwirkung). So kann eine Anlage selbst mit niedrigen Modulen mit oder ohne Gehölzeinfassung eine Entwertung von Bruthabitaten, Rastplätzen und Nahrungsbiotopen seltener und gefährdeter Vogelarten in Ackergebieten (z.B. Kranich, Graugans) und Grünlandgebieten (z.B. Wiesenbrüter, Watvögel) darstellen, die offene Landschaften benötigen und höhere Strukturen meiden. Hier sollten in künftigen Studien insbesondere Hinweise auf Mindestabstände von Rastvögeln- und Brutvögeln zu PV-FFA gefunden werden.

Bei unseren Untersuchungen konnten jedoch keine Hinweise auf eine solche Scheuchwirkung gefunden werden. Allerdings lagen die Untersuchungsgebiete auch nicht in Regionen, in denen für derartige Effekte besonders empfindliche Arten wie Wiesenbrüter oder rastende und nahrungssuchende Kraniche, Gänse oder Watvögel regelmäßig vorkommen. Zwar konnten in Mühlhausen in direkter Nachbarschaft zur PV-Anlage zwei Graugänse auf einer Wiese beobachtet werden; hieraus lassen sich allerdings noch keine allgemeingültigen Schlüsse ableiten.

Folienfang von Insekten

Die im Rahmen dieses Vorhabens durchgeführte Untersuchung zum Themenkomplex „potenzielle Attraktionswirkung für Wasserinsekten“ stellt eine erste Näherung an die Fragestellung dar und sollte – bei vergleichsweise geringem Untersuchungsaufwand – klären, ob sich die häufig geäußerten Vermutungen bezüglich einer möglichen Attraktionswirkung durch konkrete Hinweise erhärten lassen. Aufgrund der besonderen methodischen Schwierigkeiten bei der Untersuchung der möglichen Attraktionswirkung von PV-Modulen auf Arthropoden ist die kritische Diskussion der Fangergebnisse besonders wichtig.



Die Diskussion soll anhand der nachfolgenden 4 Fragestellungen strukturiert werden:

- *Sind die Fangergebnisse an Folien auf PV-Module übertragbar ?*
- *Wie sind die Ergebnisse an der Referenzfläche einzuschätzen ?*
- *Gibt es eine Attraktionswirkung und worauf beruht diese ?*
- *Wie ist diese Attraktionswirkung naturschutzfachlich zu bewerten ?*

Sind die Fangergebnisse an Folien auf die PV-Module übertragbar ?

Echtzeit-Beobachtungen an den Modulen sind zu aufwändig. Die Module konnten aus Kostengründen auch nicht direkt mit Leim bestrichen werden. Daher war das Auflegen von Folien unter den gegebenen Randbedingungen die sinnvollste Erfassungsmethodik. Es wurden möglichst durchsichtige Folien verwendet, die jedoch gleichzeitig auch UV-Strahlen und höhere Temperaturen unbeschadet überstehen sollten. Dennoch ließ sich nicht vermeiden, dass die verwendeten Folien einen Teil des auftreffenden Lichtes absorbierten bzw. reflektierten. Auch ist denkbar, dass bei den reflektierten Lichtanteilen ein anderer Polarisationswinkel entsteht als bei den PV-Modulen. Das wird auf Fotos der PV-Anlage deutlich, auf denen PV-Module mit und ohne Folienbedeckung nebeneinander zu erkennen sind (vgl. Abbildung 16 und Abbildung 17). Die Folien reflektieren stärker (und der Himmel spiegelt sich auf diesen deutlicher) als die Module selbst. Hinzu kommt der Effekt des aufgestrichenen Leims. Dieser ist durchsichtig, wenn er dünn aufgetragen und gleichmäßig ausgestrichen wird. Dennoch ist auch hier natürlich eine Verfälschung gegenüber der Lichtabsorption/Lichtreflexion der „puren“ PV-Module gegeben. Diese Verfälschung kann hier nur konstatiert, nicht jedoch qualitativ und quantitativ beschrieben werden, da z.B. entsprechende Untersuchungen zum reflektierten Wellenlängenspektrum und zur Polarisationssebene nicht durchgeführt wurden.

Die Problematik wird zudem dadurch überlagert, dass die Witterungsbedingungen sich auf die Versuchsanordnung auswirkten. Bei völlig trockenen Modulen befindet sich zwischen Folie und Moduloberfläche auch bei flacher Auflage vermutlich eine Luftschicht. Ist die Modulfläche vor der Folienuflage feucht, so haftet die Folie auf der Moduloberfläche, die Folienreflexion ist dann viel geringer („die Farbe der Module kommt unverfälscht durch“). Nach stärkeren Regenfällen und anschließender Aufwärmung der Module bildete sich trotz abgeklebter Ränder vielfach Wasserdampf unter den Folien (insbesondere in den ersten beiden Fangperioden). Diese weißen Wasserdampfbereiche unterscheiden sich sehr deutlich von der Modulfläche.

Ein weiterer Effekt entsteht mit zunehmender Fangdauer durch bereits festgeklebte Insekten, Pollen, Samen, Früchte, Blätter etc. Auf den nicht mit Kleber bestrichenen PV-Modulen bleibt nicht soviel an Pflanzenmaterial liegen (allerdings oft viel Pollen), da es durch Wind oder Regen wieder entfernt wird. Die Sichtbarkeit der Klebefolien für neu anfliegende Insekten wird also mit der Zeit erhöht. Nicht auszuschließen ist auch, dass bestimmte Arten die bereits gefangenen Tiere als Beute gezielt ansteuern.



Insgesamt ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu bedenken, dass hier der Effekt der aufgelegten Folie eine gewisse Rolle spielt. Es kann ohne weitergehende Untersuchungen nicht entschieden werden, zu welchem Anteil die Fangergebnisse auf die Folie bzw. die PV-Module zurückzuführen sind. Da jedoch – zumindest bei geeigneten Witterungsverhältnissen, zu Anfang der Fangperiode und bei akkurater Abklebung der Folienränder - eine sehr gute „Durchsichtigkeit“ der Folien erreicht wird, ist anzunehmen, dass mit der Versuchsanordnung zumindest zeitweise tatsächlich Auswirkungen der PV-Module selbst erfasst werden. Es darf dabei auch nicht vergessen werden, dass die Folien die Auswirkungen der PV-Module (im Sinne einer Attraktionswirkung) nicht nur verstärken oder überlagern, sondern auch vermindern könnten. Das hieße, dass die PV-Module ohne Folien eventuell auch eine (noch) größere Attraktionswirkung haben könnten.

Bei künftigen Untersuchungen mit derartigen Klebefolien sollten wesentlich kürzere Fangperioden (wenige Stunden) bei optimaler Witterung gewählt werden, um Störeffekte zu minimieren.

Wie sind die Ergebnisse an der Referenzfläche einzuschätzen?

Mit der Aufstellung der Referenzfläche sollten vor allem methodische Fragen untersucht und weitere Hinweise zur Einordnung möglicher Fänge aquatischer Arten auf den PV-Modulen gesammelt werden. Die zentrale Frage war: Wirkt eine ganz normale Oberfläche einer mit ähnlichen Farbe, wie die PV-Module sie haben, grundsätzlich anders als diese?

Es konnte beobachtet werden, dass die Holzplatte der Referenzfläche sich sehr viel stärker aufheizt als die PV-Module. Außerdem reflektierte die lackierte Oberfläche das Sonnenlicht viel stärker. Dementsprechend spiegelte sich hier der Himmel deutlicher in den aufgelegten Folien. Letztlich ist eine derartige Referenzfläche mit vielen anderen (vorwiegend anthropogenen) Gegenständen vergleichbar, z.B. dunkle Metalloberflächen wie bei Lackoberflächen von Autos oder asphaltierten Straßen, die ja auch stark spiegeln und auf denen häufig aufsitzende Insekten festzustellen sind (bis hin zur Eiablage) (vgl. [33]).

Die Gesamtindividuenzahlen der gefangenen Tiere auf der Referenzfläche lagen in der gleichen Größenordnung wie diejenigen auf PV-Modulen. Zumindest, was die Gesamtmenge aufsitzender Tiere anbelangt, wirken PV-Module somit scheinbar nicht deutlich anders als die Referenzfläche (siehe aber auch Diskussionspunkt 1). Hinsichtlich der für die mögliche Attraktionswirkung relevanten Gilden „aquatische“, „semiaquatische“ und „sonstige Arten mit engerem Bezug zu Wasserflächen“ gibt es gewisse Unterschiede in den Ergebnissen. Da nur eine Referenzfolie eingesetzt werden konnte, ist jedoch eine statistische Prüfung der Unterschiede zwischen Referenzfläche und PV-Modul-Folien nicht sinnvoll. Auch zeigte sich, dass sich nach längeren Regenperioden der unter der Folie gesammelte Wasserdampf bei der Referenzplatte sehr viel schneller abtrocknete als auf den PV-Modulen, die im Gegensatz zur Referenzfläche einen Metallrahmen aufwiesen. Auch deshalb ist ein Vergleich etwas problematisch.

Als Fazit aus dem Einsatz der Referenzplatte bleibt folgendes festzuhalten: Bei der Interpretation möglicher Auswirkungen von PV-Modulen sollte auch kritisch bedacht werden, welche anderen glatten, dunklen und reflektierenden Oberflächen in unserer Kulturlandschaft



existieren, die möglicherweise ähnliche potenzielle Attraktionswirkungen haben könnten. Neben den bereits genannten Autos, Gebäudedächern und anderen siedlungsnahen Objekten sind sicherlich auch Objekte in der offenen Landschaft zu betrachten wie Folien auf Gemüse- und Obstkulturen oder Planen-Abdeckungen von Silagen o.ä.

Im Rahmen künftiger Untersuchungen sollte mit einer erhöhten Stichprobenzahl auch bei Referenzflächen gearbeitet werden. Die unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften (Temperatur, reflektierte und absorbierte Wellenlängen) von Referenzfläche und PV-Modul sollten mit erfasst werden, um mögliche Ergebnisse auf Artebene besser interpretieren zu können.

Gibt es eine Attraktionswirkung und worauf beruht diese ?

Wenn davon ausgegangen wird, dass die Fangergebnisse tatsächlich auf die PV-Module übertragbar sind (vgl. Diskussionspunkt 1), dann ist zumindest bei der Gilde der aquatischen Arten, also bei den 7 festgestellten Wasserkäfer- und Wasserwanzenarten (vgl. Tabelle 16), eine Attraktionswirkung gegeben. Bei diesen Arten ist davon auszugehen, dass die Fallenflächen angefliegen wurden, weil sie für Wasserflächen gehalten wurden.

Bei der Gruppe der „semiaquatischen Arten“ (vgl. Tabelle 17) wurden nur wenige Köcherfliegen und Eintagsfliegen und nur eine Schlammfliege gefangen. Alle Arten können in ihrer Imaginalzeit auch weit abseits des Wassers vorkommen. Schlamm-, Köcher- und Eintagsfliegen fliegen auf Partnersuche herum und halten sich tagsüber oft in der Krautschicht auf. Bei diesen gefangenen Arten ist ein Zusammenhang mit der Attraktionswirkung der Module zwar nicht unwahrscheinlich, zumal bekannt ist, dass z.B. Eintagsfliegen auf regennassen Asphaltstrassen Eier ablegen (s.u.), aber sie können genauso gut als Strukturnutzer (Ruheplatz, Sonnplatz) oder Zufallsgäste (Windverdriftung) auf die Fangfolien geraten sein.

Bei den „übrigen Arten mit engerem Wasserbezug“ (Tabelle 18) ist ebenfalls eine Attraktionswirkung denkbar, jedoch können auch andere Gründe für ihr Auftreten in den Fängen sprechen. Bei diesen Arten ist wenig über ihr genaues Dispersionsverhalten bekannt. So kann nicht eingeschätzt werden, wie viele Individuen der Ufer bewohnenden Laufkäferarten wie *Acupalpus parvulus* abseits von Gewässern herumfliegen, ohne auf der Suche nach neuen Gewässern zu sein. Dennoch ist bei allen Arten nicht unwahrscheinlich, dass sie die Reflexionen von Wasserflächen bei ihrer Orientierung nutzen. Dieses Verhalten ist auch bei Insektenarten bekannt, die keine Bewohner offener Wasserflächen sind ([59]).

Dass auch zwei Laufkäferarten (darunter mit *Acupalpus meridianus* die am häufigsten gefangene Art), die trockenheitsliebend sind auf den Folien festgestellt wurden, weist darauf hin, dass möglicherweise auch die Uferbewohner zufällig oder als Strukturnutzer gefangen wurden und nicht einer Attraktionswirkung der Module zum Opfer fielen. Andererseits könnten auch xerophile Arten von Reflexionen der PV-Module angelockt worden sein, denn auch andere Substrate wie offene Sandböden oder Kiesflächen könnten aufgrund gleichartiger Reflexionen (ähnlicher Polarisationswinkel) für diese Tiere zu Verwechslungen mit den PV-Modulen führen.



Die Wirkungsweise von reflektierenden Oberflächen, also vermutlich auch den PV-Modulen auf Insekten ist indes weitgehend bekannt. Wie bei zahlreichen Untersuchungen an Wasserkäfern, Wasserwanzen und anderen Taxa festgestellt wurde, orientieren sich die meisten Arten bei der Habitatfindung nach dem von Wasseroberflächen (aber auch anderen feuchten Oberflächen wie frischem Dung) reflektierten horizontal polarisierten UV-Licht ([59], [60], [35], [33], [34]). Das Tageslicht wird nicht nur bei der Reflexion an der Wasseroberfläche polarisiert. Dies führt dazu, dass Wasserinsekten auch Plastikfolien oder lackierte Autooberflächen anfliegen. Dies geschieht vor allem bei schwarzen und roten Oberflächen („Ferrari-Effekt“), die im Sehbereich dieser rotblinden polarotaktischen Insekten in starkem Maße horizontal polarisiertes Licht abstrahlen. Gelbe und weiße Oberflächen, die wenig und meist nicht horizontal polarisiertes Licht abstrahlen, sind wenig attraktiv für diese Insektengruppe ([42]). Bei Blütenbesuchern wie Wildbienen oder Schwebfliegen werden hingegen eher weiße und gelbe Flächen bevorzugt.

Das optische System der Arten ist dabei recht unterschiedlich und reagiert in unterschiedlichen Bereichen des Lichtspektrums unterschiedlich empfindlich. Es ist auch zu bedenken, dass die Reflexion an Wasseroberflächen im Tagesverlauf je nach Bewölkungsgrad und Sonnenstand unterschiedlich ist. Hinzu kommt der Blickwinkel (Anflugwinkel) für das Insekt. Daraus ergeben sich zahlreiche Konsequenzen für die Orientierung bei Insekten. Diese Thematik kann hier nur gestreift werden. Erst weiterführende systematische Untersuchung zum Reflexionsverhalten von PV-Modulen lassen konkrete Aussagen zu Attraktivität für bestimmte Arten zu. Von den bei unserer Untersuchung erfassten Arten bzw. Gattungen sind einige bereits intensiv im Hinblick auf ihr optisches System und ihre Sensitivität für polarisiertes Licht untersucht worden (so z.B. *Gerris lacustris*, *Sigara lateralis*, *Helophorus brevipalpis*, *Laccobius spec.*, *Hydroporus spec.*, *Hydroglyphus pusillus*) (vgl. [60], [35]), so dass bereits eine gute Datenbasis vorhanden ist, auf die bei der Interpretation von Messergebnissen zurückgegriffen werden könnte.

Wie ist die Attraktionswirkung der PV-Module naturschutzfachlich zu bewerten?

Von einem nicht mit Leim bestrichenen PV-Modul können potenziell angelockte und darauf gelandete Tiere in der Regel wieder auffliegen, zumindest dann, wenn die Flächen nicht so heiß werden, dass es zu Verbrennungen kommt. Relevant wären neben tödlichen Verbrennungen und Verbrennungen der Flügel oder Beine auch Verbrennungen der Sinnesorgane (z.B. Antennen), die eine Orientierung (bzw. Partnerfindung) des wieder auffliegenden Tieres beeinträchtigen. PV-Module sollen bei direkter Sonneneinstrahlung Temperaturen um 60-70 °C erreichen. Damit sind sie aber immer noch deutlich kühler als z.B. Metallflächen im gleichen Farbton, so z.B. Autodächer. Auch die im Versuch als Referenzfläche eingesetzte lackierte Holzplatte war deutlich heißer als die PV-Module. Wenn die anfliegenden Tiere unverletzt weiterfliegen /-laufen können, verbleibt als Auswirkung dennoch der Energieverlust, da der Anflug für das Tier „nutzlos“ war.

Es gibt allerdings auch Beobachtungen von Wasserkäfern an Kunststofffolien, die so lange versuchen in die vermeintliche Wasserfläche einzudringen, bis sie an Erschöpfung sterben (vgl. Fotoserie in [34]). In dieser Zeit sind die Tiere natürlich auch möglichen Freißfeinden stärker exponiert.



Bei größeren Arten, insbesondere größeren Wasserkäfern (Gelbrandkäfer, Kolbenwasserkäfer etc.), könnte ein Aufprallen auf PV-Module zu Verletzung, schlimmstenfalls zum Tod führen. Auch wenn die Tiere später wieder weiterfliegen können, bleibt eine Reduzierung der Fitness (z.B. Orientierungsprobleme) und der oben beschriebene Energieverlust.

Bei Autodächern und asphaltierten Straßen sind auch Eiablagen von Wasserinsekten (z.B. Eintagsfliegen) beobachtet worden ([34]). Wir konnten ähnliches an den Klebefolien nicht feststellen, haben aber auch nicht speziell danach gesucht. Zu bedenken ist, dass bei einer Eiablage an Solarmodulen die gesamte Reproduktionsleistung des Weibchens und teilweise des begattenden Männchens für die Population verloren geht.

Wenn bestimmte Arten besonders stark von PV-Modulen angelockt würden, dort sterben oder immer wieder weitere Module einer Anlage anfliegen würden, könnte es theoretisch zu einer Art Fallenwirkung der Anlage kommen, die bei benachbarten Habitaten einen Leerfangeffekt zur Folge hätte, ähnlich wie die Lockwirkung bestimmter Lichtquellen auf nachtaktive Insekten (Nachtflieger, Köcherfliegen etc.).

Für die in den letzten beiden Absätzen angesprochenen Auswirkungen gibt es aus unserer Untersuchung keine Belege. Es handelt sich um eine theoretische Einschätzung. Naturschutzfachlich relevant werden derartige Auswirkungen ohnehin nur in zwei Fällen:

- a) wenn seltene oder gefährdete Arten potenziell betroffen sind oder
- b) wenn sehr große Individuenzahlen einzelner oder mehrerer auch häufigerer Arten betroffen sind.

Dabei muss dann immer im Einzelfall geprüft oder eingeschätzt werden, wie groß mögliche Auswirkungen auf Populationsebene für die jeweiligen Arten (bzw. die assoziierten Lebensgemeinschaften) ist. Der Verlust einzelner Individuen ist z.B. auch bei eher seltenen Arten in der Regel unproblematisch, da die meisten Insektenarten in einer vitalen Population relativ große Individuenzahlen erreichen. Es könnten aber auch von Natur aus seltene Arten mit niedrigen Populationsdichten betroffen sein, bei denen ein zusätzlicher Verlustfaktor durchaus kritisch zu sehen ist. Bis derartige Fälle nicht bekannt und untersucht sind, bleibt eine Einschätzung theoretisch und spekulativ.

Vorsorglich sollten unserer Ansicht nach in der Nähe von bekannten Vorkommen besonders stark gefährdeter Wasserkäferarten keine PV-Freiflächenanlagen gebaut werden. Im Rahmen weiterer Untersuchungen kann künftig möglicherweise diese Risikoeinschätzung revidiert oder durch konkrete Vorschläge für Mindestabstände unteretzt werden.

Die geringen Individuenzahlen von „Wasserinsekten“ bei unseren Untersuchungen dürfen nicht dazu verleiten, automatisch von einem marginalen Effekt auszugehen. Es ist zu bedenken, dass unsere Untersuchung nur in einem kurzen Zeitraum und mit einer sehr niedrigen Stichprobenzahl (8 Wochen, 5 Fangflächen) durchgeführt wurde. In einem durchschnittlichen Solarpark können Hunderte von Modulen stehen. Außerdem wurde von uns nur ein kleiner Teil des potenziell auf die Module reagierenden Artenspektrums auf Artniveau ausgezählt. So blieb z.B. die Vielzahl der wassergebundenen Dipteren oder aber die Gilde der Dungbewohner unberücksichtigt.



6.5 Praxisuntersuchungen zum Landschaftsbild

6.5.1 Fragestellung und Untersuchungsumfang

Ziel der Praxisuntersuchungen war es, die von PV-FFA im Landschaftsbild ausgelösten Veränderungen zunächst qualitativ zu beschreiben und zu ermitteln, in welchem Umfang die einzelnen Anlagenteile bzw. (die von ihnen verursachten Wirkfaktoren) zur Gesamtwirkung beitragen. Als Faktoren, die die Auswirkungen vermindern, wurde der Einfluss von Sichtverschattungen sowie die Empfindlichkeit des Landschaftsbilds gegenüber den spezifischen Wirkungen von PV-FFA berücksichtigt. Die Dominanz der PV-FFA im Landschaftsbild wurde anhand des Landschaftsbildeindrucks subjektiv eingeschätzt.

Der Beobachtungsraum umfasste dabei den gesamten Sichtraum der PV-FFA.

6.5.2 Methode

Zur Ermittlung der Auswirkungen von PV-FFA auf das Landschaftsbild wurden insgesamt drei Anlagen aufgesucht und die Sichtbarkeit von verschiedenen repräsentativen Beobachtungspunkten aus dokumentiert. Die Auswahl der Anlagen erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten

- Wirksamkeit für das Landschaftsbild: stark sichtverschattete Anlagen z.B. innerhalb von Waldgebieten wurden ausgeschlossen, ebenso Anlagen in direktem Kontakt zu Ortslagen
- Modultypen: Es wurden unterschiedliche Bauweisen (Modulreihen und Einzelkollektoren „Mover“ betrachtet)
- Landschaftsästhetische Vorbelastung: es sollten Anlagen in naturnahen Landschaften und in Landschaften mit stärkerer Vorbelastung durch Bebauungen etc. verglichen werden.

Es wurden die Solarparke Erlasee, Markstetten und Mühlhausen ausgewählt. Die Begehungstermine wurden außerhalb der Vegetationsperiode durchgeführt, da dann wegen der fehlenden Belaubung der sommergrünen Gehölze stärkere Auswirkungen der Anlagen auf das Landschaftsbild zu erwarten waren. Die Begehungen fanden zu folgenden Terminen statt:

- Mühlhausen (Begehung 26.4.2006)
- Markstetten (Begehung 26.4.2006)
- Erlasee (Begehungen 27.4.2006, 10.5.2006)

Die Begehungen fanden bei aufgelockerter Bewölkung statt, so dass sowohl die Wirkungen durch Reflexion als auch die Helligkeitwirkungen bei diffusem Licht (Bewölkung) beurteilt werden konnten. Für die Anlagen wurde zunächst anhand der TK 25 der potenzielle Sichtbereich ermittelt und repräsentative Beobachtungspunkte bestimmt. Diese wurden im Gelände aufgesucht und das Landschaftsbild textlich und fotografisch dokumentiert, sofern die Anlage von dem jeweiligen Punkt aus sichtbar war. Es zeigte sich dabei, dass bei vielen



der potenziellen Beobachtungspunkte aufgrund von Sichtverschattungen keine Sichtbarkeit gegeben war¹¹.

Im Gelände wurde eine Charakterisierung des Landschaftsraums, eine Analyse der Sichtbeziehungen und des Sichttraums sowie eine Beschreibung und Bewertung der Auswirkung der Anlage auf das Landschaftsbild aufgenommen. Die Dominanz der Anlage im Landschaftsbild wurde anhand folgender Kategorien bewertet:

- **Dominante Wirkung**
Die Anlage nimmt einen großen Anteil des Blickfelds ein. Die einzelnen baulichen Elemente der PV-Anlage können in der Regel aufgelöst und erkannt werden. Die Anlage zieht somit schon aufgrund der Größe und der erkennbaren technischen Einzelheiten die Aufmerksamkeit besonders auf sich. Anlagenbedingte Faktoren oder der Sonnenstand haben wenig Einfluss auf die Wirksamkeit.
- **Subdominante Wirkung**
Die Anlage ist im Blickfeld auffällig, die einzelnen Elemente oder Reihen der Anlage werden jedoch meist nicht mehr (unwillkürlich) aufgelöst und erkannt. Die Anlage erscheint eher als mehr oder weniger homogene Fläche (oder Linie), die sich dadurch von der (natürlichen) Umgebung abhebt. Die Auffälligkeit ist hier von mehreren Faktoren abhängig, hierzu zählen sowohl standortbedingte Faktoren (z.B. Lage in der Horizontlinie, Silhouettenwirkung), anlagenbedingte Faktoren (wie Farbgebung, Einheitlichkeit der Anlage in Farbe und Form, Reflexeigenschaften) als auch andere Faktoren wie z.B. Lichtverhältnisse (Sonnenstand, Bewölkung).
- **Marginale Wirkung**
Aufgrund des größeren Abstands oder der stärkeren Sichtverschattung ist der Anteil im Blickfeld so gering, dass sie vor allem wegen der gegenüber der Umgebung meist etwas größeren Helligkeit im Landschaftsbild Aufmerksamkeit erregt.
- **Nicht signifikante Wirkung**
Die Auffälligkeit der Anlage ist so gering, dass sie als nicht signifikant und somit für das Landschaftsbild unerheblich eingestuft werden kann.

Die Auswertung umfasst darüber hinaus die Ermittlung der Breite und Höhe der Anteile im Blickfeld des Beobachters. Es wurde dabei eine Größe des Blickfeldes von 54° horizontal und 37° vertikal zu Grunde gelegt (vgl. [38], S. 242). Der Anteil der Anlagen im Blickfeld wurde anhand der Fotografien ermittelt, wobei die Brennweite des verwendeten Objektivs berücksichtigt wurde.

¹¹ Durch die durchgeführten Beobachtungen lässt sich der Sichtbereich der einzelnen Anlagen mit guter Annäherung abschätzen. Es war jedoch nicht Aufgabe der Untersuchung, den tatsächlichen Sichtbarkeitsbereich flächenscharf zu ermitteln. Daher wurden stets nur repräsentative Beobachtungspunkte aufgesucht. Eine flächendeckende Analyse erfolgte nicht.



6.5.3 Ergebnisse

Solarpark Erlasee

Landschaftsraum

Der Solarpark Erlasee liegt in einer flach reliefierten Mittelgebirgslandschaft mit einigen tiefer eingeschnittenen Fließgewässern. Die Geländehöhen liegen etwa zwischen 200 und 350 m ü. NN. Die Landschaft ist überwiegend landwirtschaftlich genutzt und strukturarm, dazwischen finden sich einige Waldstücke. Nur stellenweise sind Feldgehölze oder Hecken vorhanden. Zusammenhängende Bebauungen befinden sich vorwiegend in den Talräumen.

Der Solarpark liegt auf einem flach geneigten Südhang und erstreckt sich in nord-südlicher wie auch in west-östlicher Richtung über eine Länge von rd. 1,5 km. Die Höhenlage liegt zwischen 270 und 310 m ü. NN, die Anlage befindet sich somit eher im Kuppenbereich.

Der Solarpark besteht aus einzelnen Kollektoren, die über eine dreh- und schwenkbare Modulfläche verfügen. Die Kollektoren besitzen eine Höhe von rd. 6 m. Die Flächengröße der Anlage beträgt insgesamt 75 ha.

Sichtraum

Der Sichtraum wird zunächst durch ein ausgedehntes Waldstück nördlich der Anlage sowie weitere kleinere Gehölze an deren Südrand begrenzt. Eine teilweise Sichtverschattung ergibt sich nach Osten durch eine über weite Strecken dichte Hecke entlang eines an der Grenze des Solarparks verlaufenden Fahrweges. Die Kollektoren überragen die Hecke aufgrund ihrer Höhe von rd. 6 m stellenweise, so dass es sich hier nur um eine teilweise Sichtverschattung handelt.

Der Sichtraum ist darüber hinaus durch das Relief stark eingeschränkt. In südlicher Richtung begrenzen zwei kleine Geländewellen den Sichtraum, nach Westen ist die Anlage aufgrund der konvexen Hangneigung von der Talsohle aus nicht mehr sichtbar. Darüber hinaus führen einzelne kleine Gehölze bzw. Hecken zu Sichtverschattungen.

Die maximale Ausdehnung des Sichtraums beträgt rd. 3,5 km (Blickrichtung von Osten).

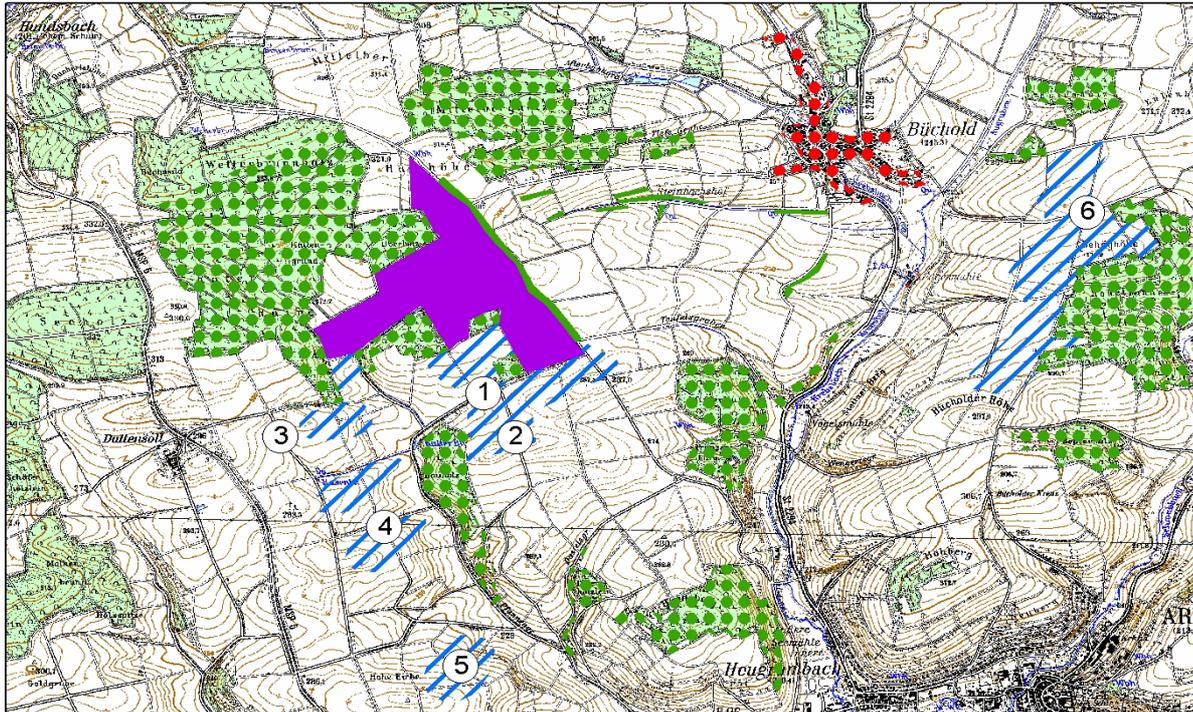


Abbildung 29: Sichtraum Solarpark Erlasee (schematisch*)

* im Rahmen des Vorhabens wurde keine vollständige Sichtbarkeitsanalyse vorgenommen. Die Darstellung dient daher in erster Linie der Visualisierung der grundsätzlichen Zusammenhänge.

violett: Fläche des Solarparks

rot: sichtverschattende Bebauung

grün: sichtverschattende Gehölze

blau schraffiert: Flächen mit Sichtbeziehungen

Ziffern: Beobachtungspunkte



Beobachtungspunkte

Beobachtungspunkt 1: Abstand 300 m, Höhendifferenz -25 m, südlich der Anlage

Der Beobachtungspunkt liegt auf einem nach Südwesten abfallenden Hang unterhalb des Solarparks. Dadurch heben sich die relativ großen Kollektoren deutlich als Einzelobjekte gegen den Horizont ab. Sie erscheinen dadurch und aufgrund ihrer horizontalen und vertikalen Ausdehnung im Blickfeld im Landschaftsbild dominant.



Abbildung 30: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 1, 300 m südlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 50mm):

- Horizontal: 26 %
- Vertikal: 2,7 %



Beobachtungspunkte 2a/b: Abstand 400 bzw. 700m, Höhendifferenz rd. 0 m, südwestlich der Anlage

Der Beobachtungspunkt liegt auf einer flachen Geländewelle südlich der Anlage, die den weiteren Sichtbereich nach Süden begrenzt. Der Solarpark ist sowohl bei einem Blick nach Nordosten als auch nach Nordwesten sichtbar, die beiden Anlagenteile sind jedoch durch ein breites sichtverschattendes Waldstück voneinander getrennt, das seinerseits etwa 60 % des Blickfelds einnimmt. Vorbelastungen sind im gesamten Bereich nicht vorhanden.

Bei einem Blick nach Nordosten erstreckt sich der dort sichtbare Anlagenteil über 50 % des Blickfelds in horizontaler Richtung. Aufgrund ihrer Größe sind die Einzelmodule zwar gerade noch erkennbar, der Solarpark erscheint jedoch eher als Fläche. Insgesamt wird die Wirkung als subdominant eingestuft (Abbildung 31).

Bei einem Blick nach Nordwesten erstreckt sich der dort weiter im Hintergrund liegende Anlagenteil über 15 % des Blickfelds in horizontaler Richtung und über 1,6 % des Blickfelds in vertikale Richtung. Hier ist die Reihenstruktur der Module sehr gut auflösbar. Der Solarpark wirkt auch in dieser Blickrichtung subdominant auf das Landschaftsbild (Abbildung 32).



Abbildung 31: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 2a, 400 m südwestlich der Anlage

Blickrichtung Nordosten, Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 50mm):

- Horizontal: 40 %
- Vertikal: 3 %



Abbildung 32: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 2b, 700 m südwestlich der Anlage

Blickrichtung nach Nordwest, Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 50mm):

- Horizontal: 15 %

- Vertikal: 1,6 %

**Beobachtungspunkt 3: Abstand 1200 m, Höhendifferenz rd. 0 m, westlich der Anlage**

Der Beobachtungspunkt liegt auf der nächsten Kuppe in westlicher Richtung. Die Anlage erstreckt sich über 50 % des Blickfeldes, sie wird allerdings in zwei Bereichen zu insgesamt rd. 50% durch Gehölze sichtverschattet. Der Anteil am horizontalen Blickfeld beträgt somit nur rd. 25 %. Andererseits ist der Solarpark teilweise in der Horizontlinie sichtbar und dadurch besonders auffällig. Randlich sind einzelne Module noch auflösbar.

Vorbelastungen sind im Landschaftsbild nicht erkennbar. Insgesamt wird der Eindruck durch die große Gesamtausdehnung und die Lage in der Horizontlinie als subdominant eingestuft.



Abbildung 33: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 3, 1.200 m westlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld: (Objektivbrennweite 50mm)

- Horizontal: 51 %, aber zu 50 % sichtverschattet
- Vertikal: < 1 %

Beobachtungspunkt 4: Abstand 1300 m, südwestlich der Anlage

Der Beobachtungspunkt liegt auf der nächsten Geländewelle in südwestlicher Richtung, etwa in gleicher Höhenlage. Der Sichtraum wird nach Osten durch ein größeres Gehölz begrenzt, nach Westen durch das Relief. Es sind zwei Teile des Solarparks sichtbar, der übrige Teil ist durch Gehölze sichtsverschattet. Die beiden Teile nehmen jeweils rd. 8 % des Sichtfelds ein. Zusammengenommen ist noch eine marginale Wirkung feststellbar, einzeln wäre die Wirksamkeit jedoch als nicht signifikant einzustufen. Eine im Vordergrund verlaufende Freileitung ist im Landschaftsbild wesentlich auffälliger als der Solarpark im Hintergrund.



Abbildung 34: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 4, 1.300 m südwestlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28mm):

- Horizontal: jeweils 8 %
- Vertikal: <1 %



Beobachtungspunkt 5: Abstand 2000 m, südwestlich der Anlage

Der Beobachtungspunkt liegt auf einer Höhe von rd. 280 m ü. NN und stellt den nächsten Beobachtungspunkt in südlicher Richtung dar, von dem aus der Solarpark sichtbar ist, da die übrigen Bereiche durch die flachen Geländewellen unmittelbar im Süden der Anlage sichtverschattet sind. Der südöstliche Teil des Solarparks ist jedoch auch bei diesem Beobachtungspunkt noch sichtverschattet, die die Horizontlinie überragende Struktur sind die Gehölze hinter der Anlage.

Die Freileitung im Bildmittelgrund weist in etwa eine ähnliche Wirkung auf wie der Solarpark. Insgesamt wird die Auswirkung als nicht signifikant eingeschätzt.



Abbildung 35: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 5, 2.000 m südlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 50mm):

- Horizontal: 7%
- Vertikal: <1 %

Beobachtungspunkt 6: Abstand 3200 m, östlich der Anlage

Der Beobachtungspunkt liegt auf einer Höhe von rd. 270 m ü. NN und stellt den nächsten Beobachtungspunkt in östlicher Richtung dar, da in den dazwischen liegenden Bereichen der Solarpark durch Hecken und flache Erhebungen sichtverschattet ist. Der Solarpark erstreckt sich in horizontaler Richtung über rd. 37 % des Blickfeldes. Durch die unmittelbar östlich des Solarparks verlaufende Hecke ist er auf ganzer Länge teilweise und abschnittsweise vollständig sichtverschattet. Eine Sichtbeziehung ergibt sich v.a. aufgrund der großen Höhe der Module, die die Heckenpflanzung teilweise überragen, sowie aufgrund des sanften Geländeanstiegs innerhalb des Solarparks. Vorbelastungen sind nicht vorhanden. Die Wirkung wird wegen der sehr weit gehenden Sichtverschattung als marginal eingestuft.



Abbildung 36: Solarpark Erlasee, Beobachtungspunkt 6, 3.200 m östlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 50 mm):

- Horizontal: 37 %, davon rd. 30% vollständig sichtverschattet und zu rd. 55 % teilweise sichtverschattet.

Vertikal: <1 %

Bewertung der Landschaftsbildveränderung

Bedingt durch das Relief und die Gehölze ist der Sichtbereich des Solarparks stark eingeschränkt. Abgesehen von dem – hier nicht dokumentierten - unmittelbaren Nahbereich, in dem naturgemäß eine dominante Wirkung des Solarparks besteht, sind Sichtbeziehungen vor allem von weiter entfernt gelegenen Beobachtungspunkten (> 1 km) festzustellen. Trotz der großen Entfernung kommt es jedoch aufgrund der großen Höhe der Einzelmodule sowie der großen Flächenausdehnung des Parks zu erheblichen Auswirkungen auf das Landschaftsbild. Z.T. sind auffällige Horizontüberhöhungen der Anlage zu beobachten. Die Sichtbeziehungen reichen bis in eine Entfernung von rd. 3000 m.



Solarpark Markstetten

Landschaftsraum

Der Solarpark Markstetten liegt am Südhang (Höhenlage zwischen 430 und 470 m ü. NN) eines kleinen, östlich der Anlage nach Norden verschwenkenden Talraums, der von landwirtschaftlichen Nutzflächen mit einzelnen Gehölzen und der im Nordwesten der Anlage liegenden Ortslage Markstetten geprägt ist. Die umgebenden Höhenzüge mit Höhen um 500 m ü. NN sind bewaldet. Die Module sind unbeweglich auf einer Holzkonstruktion montiert. Die Flächengröße der Anlage beträgt 7,8 ha.

Sichtraum

Durch die Hanglage und die Ausrichtung der Modultische nach Süden ist die Anlage nur in den südlichen Sektoren sichtbar. Unmittelbar südlich der Anlage befindet sich eine Böschung mit naturnaher Vegetation und Gehölzen, die teilweise sichtverschattend wirkt. Der weitere Sichtraum wird durch den Beginn der Bewaldung begrenzt. Nach Norden sind von einigen Beobachtungspunkten aus die Unterkonstruktionen sichtbar. Die maximale Ausdehnung des Sichtraums beträgt rd. 750 m.

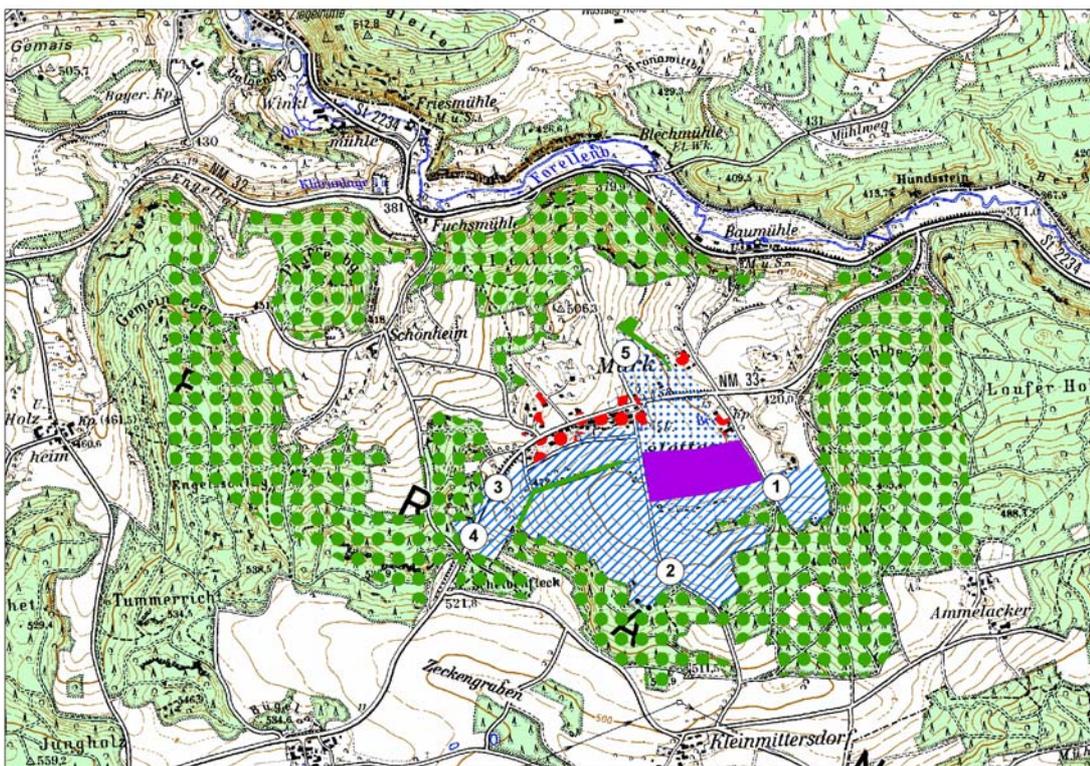


Abbildung 37: Sichtraum Solarpark Markstetten (schematisch*)

* im Rahmen des Vorhabens wurde keine vollständige Sichtbarkeitsanalyse vorgenommen. Die Darstellung dient daher in erster Linie der Visualisierung der grundsätzlichen Zusammenhänge.

- violett: Fläche des Solarparks
- rot: sichtverschattende Bebauung
- grün: sichtverschattende Gehölze
- blau schraffiert: Flächen mit Sichtbeziehungen (Modulansicht)
- blau punktiert: Flächen mit Sichtbeziehungen (Rückansicht der Module)
- Ziffern: Beobachtungspunkte

Beobachtungspunkte

Beobachtungspunkt 1: Abstand 150 m, Höhendifferenz rd. -10 m

Der Beobachtungspunkt liegt am Fuß der Talsenke im Süden der PV-Anlage. Aufgrund des leicht konvexen Hangreliefs ist nur die unterste Modulreihe als lineare Struktur sichtbar. Zwischen dem Beobachtungspunkt und dem Solarpark befindet sich eine Wiese ohne Vorbelastungen oder Sichtverschattungen.

Insgesamt erstreckt sich die PV-Anlage in horizontaler Richtung über etwa 65 % des Blickfelds. Dadurch und durch die Lage in der Horizontlinie ist eine dominante Wirkung gegeben.



Abbildung 38: Solarpark Markstetten, Beobachtungspunkt1, 150 m südöstlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 35 mm):

- Horizontal: 65 %
- Flächig: 1,8 %



Beobachtungspunkt 2: Abstand 300 m, Höhendifferenz rd. 0 m

Der Beobachtungspunkt liegt am südlichen Hang des Talkessels am Waldrand und somit an der südlichen Begrenzung des Sichtraums. Die Anlage ist in ihrer gesamten Flächenausdehnung sichtbar und nimmt etwa 72 % Blickfeldes in horizontaler Richtung und maximal 4 % des Blickfeldes in vertikaler Richtung ein. Durch das flächige Erscheinungsbild des Solarparks tritt die Farbe der Module besonders hervor. Zusätzlich sind Lichtreflexe am Modulgestänge auffällig. Sichtverschattungen durch eine Biotopfläche unterhalb des Solarparks spielen nur eine geringe Rolle. Die Wirkung wird insgesamt als dominant eingeschätzt.



Abbildung 39: Solarpark Markstetten, Beobachtungspunkt 2, 300 m südlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: 72 %
- Vertikal: 4 %

Beobachtungspunkt 3: Abstand 600 m, Höhendifferenz rd. 50 m

Der Beobachtungspunkt liegt westlich der Anlage und gegenüber dieser etwas erhöht. Wegen der Lage des Beobachtungspunkt seitlich zur Südausrichtung der Modulreihen ist zwischen den Modulreihen der Untergrund sichtbar, dadurch erscheint der Solarpark nicht kompakt, sondern eher aufgelockert. Die Anlage nimmt in horizontaler Richtung rd. 22 % des Blickfelds ein, etwa die Hälfte der Anlage ist aber durch Gehölze sichtbar verschattet. Die Wirkung wird als marginal eingestuft.



Abbildung 40: Solarpark Markstetten, Beobachtungspunkt 3, 600 m westlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: 22 %
- Vertikal: 1,8 %



Beobachtungspunkt 4: Abstand 800 m, Höhendifferenz rd. 65 m

Der 4. Beobachtungspunkt liegt etwas weiter südlich und westlich und etwas höher als der Beobachtungspunkt 3. Die Anlage ist durch eine Hecke im Winter geringfügig, im Sommer aber fast vollständig sichtverschattet. Die Ausdehnung im Blickfeld beträgt horizontal 21 % und vertikal 4 %. Es ist deutlich, dass gegenüber dem Standort 3 trotz des geringfügig größeren Abstands der Solarpark auffälliger ist. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Beobachtungspunkt weiter im Süden der Anlage liegt und somit einerseits ein flächiges Erscheinungsbild der Anlage entsteht und außerdem die Helligkeit durch reflektiertes Licht deutlich größer ist. Vorbelastungen durch Gebäude sind im Landschaftsbild wenig auffällig. Die Wirkung ist im Winter als subdominant, im Sommer als marginal einzustufen.



Abbildung 41: Solarpark Markstetten, Beobachtungspunkt 4, 800 m südwestlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: 21 %
- Vertikal: 4 %

Beobachtungspunkt 5: Abstand 300 m, Höhendifferenz rd. 25 m, nördlich der Anlage

Von diesem Beobachtungspunkt sind von der Anlage nur die Tragekonstruktionen sichtbar. Da diese aus Holz gefertigt ist, entstehen keine Reflexe oder Helligkeitsunterschiede. Die Anlage zeigt keine Auffälligkeit gegenüber den sonstigen Strukturen der Landschaft, die u.a. durch die Bebauung von Markstätten geprägt ist. Die Auswirkungen auf das Landschaftsbild sind nicht signifikant.



Abbildung 42: Solarpark Markstetten, Beobachtungspunkt 5, 300 m nördlich der Anlage

Es ist nur die rückwärtige Seite der Modulreihen sichtbar (Pfeil). Die Wirkung ist nicht signifikant

Bewertung der Landschaftsbildveränderung

Der Sichtraum der Anlage ist bedingt durch die Lage am Südhang eines flachen Tals, das nicht von anderen Beobachtungspunkten eingesehen werden kann, stark eingeschränkt. Zusätzlich wird der Sichtraum durch die Bewaldung der Kuppen eingeschränkt. Die Landschaftsbildbeeinträchtigungen umfassen somit nur den Nahbereich. Die Beeinträchtigungen werden von einigen Beobachtungspunkten durch teilweise Sichtverschattungen vermindert. Da die Module auf festen Holzgestellen montiert sind, treten im Bereich nördlich der Anlage selbst dort, wo Sichtbeziehungen bestehen, keine erheblichen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes auf. Bei Beobachtungspunkten seitlich der Anlage ist die Wirkung deutlich reduziert, da einerseits die Anlagen aufgelockert erscheinen (zwischen den Modulreihen ist der Untergrund sichtbar) und außerdem die Lichtreflektion der Module zur Seite hin gering ist.



Solarpark Mühlhausen

Landschaftsraum

Die PV-Anlage Mühlhausen befindet sich in einer durch Bebauungen und Verkehrswege geprägten Landschaft. Der Planbereich liegt nahe dem südwestlichen Ortsrand von Mühlhausen. Es wird von Landstraßen, dem Main-Donau-Kanal und einem erhöht liegenden Wasserspeicherbecken umgrenzt. Im Nordwesten schließt ein Gewerbegebiet an, im Südwesten befindet sich die Ortslage von Bachhaus. Weiter im Süden befindet sich die Ortschaft Erasbach, die ebenfalls durch großflächige Gewerbegebiete geprägt ist.

Das überplante Gelände ist weitgehend eben (Höhenlage bei 400 m ü. NN) und liegt am östlichen Ende eines weiten Talraums, der im Norden, Süden und Osten durch Höhenzüge mit einer Höhendifferenz von etwa. 150 – 200 m begrenzt wird. Diese Höhenzüge sind im oberen Teil bewaldet (Waldrand bei rd. 450 m ü NN), so dass der Sichtraum eine Höhendifferenz zum Vorhaben von rd. 50 m umfasst. Nach Westen steigt das Gelände sanft an, die Flächen in diesem Bereich sind überwiegend landwirtschaftlich genutzt und z.T. durch Hecken oder Baumreihen gegliedert.

Die Modultische sind auf Aluminiumrahmen montiert und um eine horizontale, in Nord-Süd-Richtung verlaufende Achse schwenkbar. Sie sind in den Morgenstunden nach Osten exponiert, zur Mittagszeit flach und abends nach Westen exponiert. Die Tragekonstruktion ist aus blankem Aluminium. Die Flächengröße der Anlage beträgt rd. 21 ha.

Sichtraum

Der Solarpark ist im Nahbereich nach Südwesten durch ein Speicherbecken sowie nach Nordwesten durch eine in Dammlage verlaufende Straße sichtsverschattet. Nach Norden und Osten sind die Sichtbeziehungen weitgehend frei, da u.a. die angepflanzten Gehölze in diesem Bereich noch jung sind.

In größerer Entfernung ist der Sichtraum des Vorhabens durch die Höhenzüge und die Bewaldung begrenzt. Innerhalb des Talraums gibt es jedoch zahlreiche Sichtverschattungen durch Bebauungen und Gehölze sowie das Relief, so dass der tatsächliche Sichtraum stark eingeschränkt ist. Abgesehen vom Nahbereich ergeben sich Sichtbeziehungen vor allem von den Hängen der angrenzenden Höhenzüge aus nordöstlicher, nordwestlicher und südwestlicher Richtung. Die maximale Ausdehnung des Sichtraums beträgt rd. 4 km.

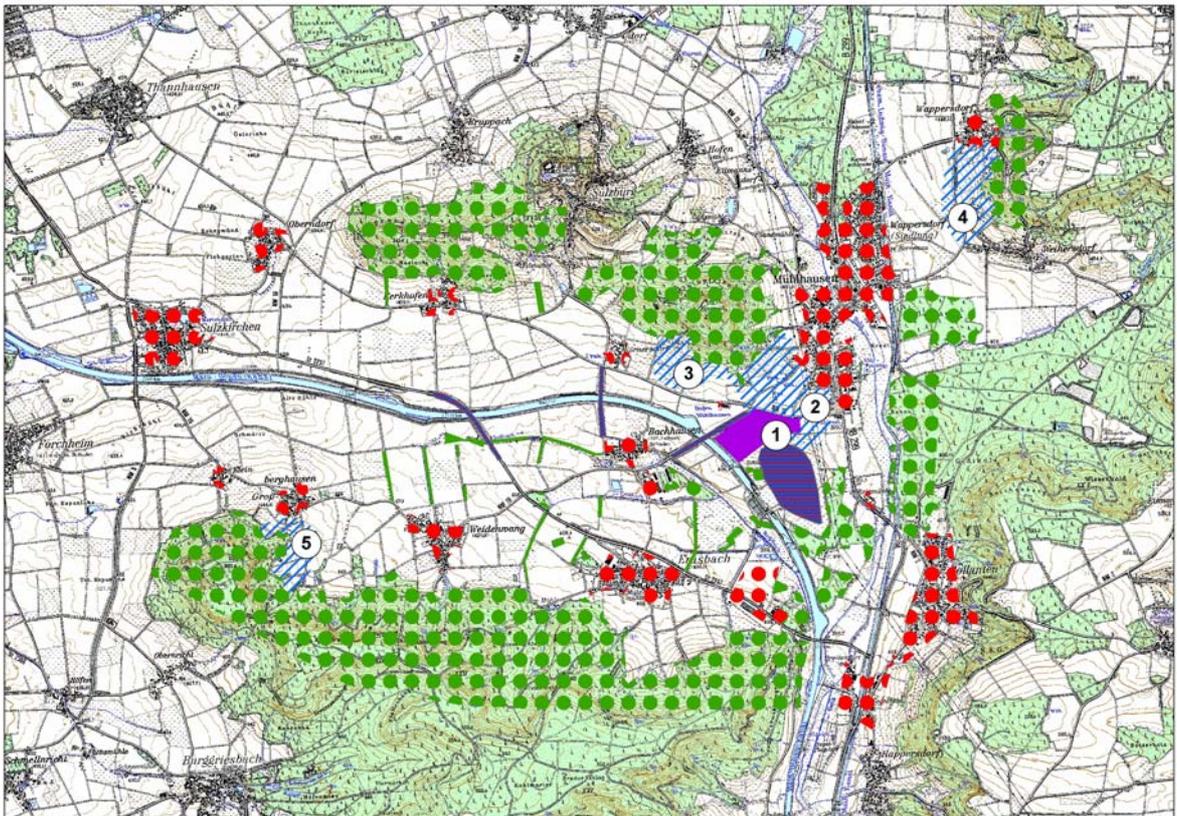


Abbildung 43: Sichtraum Solarpark Mühlhausen (schematisch*)

* im Rahmen des Vorhabens wurde keine vollständige Sichtbarkeitsanalyse vorgenommen. Die Darstellung dient daher in erster Linie der Visualisierung der grundsätzlichen Zusammenhänge.

violett: Fläche des Solarparks

rot: sichtverschattende Bebauung

rot/blau schraffiert: sichtverschattende technische Objekte

grün: sichtverschattende Gehölze

blau schraffiert: Bereiche mit Sichtbeziehungen

Ziffern: Beobachtungspunkte



Beobachtungspunkte

Beobachtungspunkt 1: Abstand 50 m, Höhendifferenz rd. 10 m

Von dem etwas erhöhten Beobachtungspunkt (Damm des Speicherbeckens) ist die Anlage fast in voller Ausdehnung sichtbar. Die Anlage dominiert das Landschaftsbild vollständig. Andere Vorbelastungen (Bebauungen, Straßen) treten zurück. Die Wahrnehmbarkeit des naturnäheren Bildhintergrundes wird stark überprägt.



Abbildung 44: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 1, 50 m südöstlich der Anlage

Aufnahme am späten Vormittag, die Modultische sind schwach nach Osten geneigt.

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: > 100 %
- Vertikal: 17 %

Beobachtungspunkt 2: Entfernung rd. 500 m, Höhendifferenz 0 m

Dieser Beobachtungspunkt liegt im Osten der Anlage in Ortsrandlage. Zwischen Anlage und Beobachtungspunkt befinden sich landwirtschaftliche Nutzflächen, als Vorbelastung wirkt eine Freileitung, die das Blickfeld im Vordergrund kreuzt. Im Hintergrund sind die bewaldeten Höhenzüge zu erkennen. Die Ausdehnung der Anlage im Blickfeld beträgt rd. 45 %.

Die Wirksamkeit der Anlage wird als subdominant eingeschätzt. Gegenüber der Vorbelastung der Freileitung ist die zusätzliche Beeinträchtigung des Landschaftsbilds durch die Anlage eher gering.



Abbildung 45: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 2, 500 m östlich der Anlage:

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: 54 %

- Vertikal: < 1 %

Aus dieser Richtung ließ sich am Nachmittag dagegen gut der Effekt der Lichtreflexion am metallischen Gestänge beobachten. Durch den Stand der Sonne im Südwesten ergab sich eine deutliche Blendwirkung, die vor dem wolkenverhangenen dunklen Himmel besonders hervortrat (Abbildung 46). Der Kontrastunterschied ist im Foto nur abgeschwächt erkennbar.



Abbildung 46: Solarpark Mühlhausen, Beobachtungspunkt 2a 500 m westlich der Anlage mit Lichtreflexen am Gestänge

**Beobachtungspunkt 3: Entfernung rd. 750 m, Höhendifferenz rd. 50 m**

Dieser Beobachtungspunkt liegt im Nordwesten der Anlage am Waldrand. Zwischen Anlage und Beobachtungspunkt befindet sich Grünland sowie an der durch das Blickfeld verlaufenden Landstraße ein kleineres Gewerbegebiet. Hinter der Anlage sind die Wasseroberfläche des Grundwasserspeichers sowie Wohnbebauungen einschließlich weiterer Gewerbegebiete zu erkennen. Im Bildhintergrund liegen bewaldete Höhenzüge.

Einzelne Module sind aus dieser Entfernung nicht mehr unterscheidbar und die Anlage erscheint flächig. Sie nimmt insgesamt 66 % des Blickfelds in horizontaler Richtung und 3 % des Blickfelds in vertikaler Richtung ein. Die Wirkung ist im Landschaftsbild dominant. Der Solarpark ähnelt in seinem Erscheinungsbild der Wasserfläche des Wasserspeichers und des Main-Donau-Kanals, wobei der Farbton etwas mehr ins Violette verschoben ist und sich dadurch von den Wasserflächen unterscheidet. Auch die etwas weiter entfernt im Süden befindliche Lagerhalle weist ein ähnliches Erscheinungsbild wie die Anlage auf. Insgesamt ist die Veränderung des Landschaftsbildes qualitativ gering, da mehrere andere im Erscheinungsbild ähnliche Vorbelastungen das Landschaftsbild prägen.



Abbildung 47: Solarpark Mühlhausen: Beobachtungspunkt 3, 750 m nordwestlich der Anlage:

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 28 mm):

- Horizontal: 66 %
- Vertikal: 3 %



Beobachtungspunkt 4: Entfernung rd. 3.000 m, Höhendifferenz rd. 50 m

Dieser Beobachtungspunkt liegt im Nordosten der Anlage am Waldrand. Zwischen Anlage und Beobachtungspunkt befinden sich landwirtschaftliche Nutzflächen sowie eine Ortslage. Südlich der Anlage ist die Wasseroberfläche des Grundwasserspeichers sowie die Dachfläche einer gewerblichen Halle zu erkennen. Im Bildhintergrund liegen bewaldete Höhenzüge. Da der Beobachtungsstandort höher als die Anlage liegt, erscheint die Anlage flächig. Sie weist dabei eine vertikale Ausdehnung im Blickfeld von rd. 1,5 % auf, in horizontaler Richtung nimmt sie rd. 18 % des Blickfelds ein. Die Wirkung ist als subdominant einzustufen. Sie ähnelt in ihrem Erscheinungsbild der Wasserfläche des Grundwasserspeichers. Insgesamt ist die Veränderung des Landschaftsbildes qualitativ gering, da die Vorbelastung des Landschaftsbildes durch die Ortslage und die Verkehrsstraße das Landschaftsbild prägen und daher die Anlage (wie auch das Speicherbecken und das Hallendach) den bereits vorherrschenden Landschaftsbildeindruck zwar verstärken, aber ihm keine grundsätzlich neue Qualität hinzufügen. Quantitativ ist der Anteil an naturfernen Objekten im Landschaftsbild nur geringfügig erhöht.



Abbildung 48: Solarpark Mühlhausen: Beobachtungspunkt 4, 3000 m nordöstlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 35 mm):

- Horizontal: 18 %
- Vertikal: 1,5 %

Beobachtungspunkt 5: Entfernung rd. 4000 m, Höhendifferenz rd. 50 m

Dieser Beobachtungspunkt liegt im Westen der Anlage am Waldrand. Zwischen Anlage und Beobachtungspunkt befinden sich durch Hecken und Gehölze gegliederte landwirtschaftliche Nutzflächen. Im Bildhintergrund liegen bewaldete Höhenzüge.

Obwohl der Beobachtungsstandort höher als die Anlage liegt, ist die Anlage durch die Hecken und Gehölze weitgehend sichtverschattet. Sie ist zwar bei Kenntnis ihrer Lage sichtbar und hebt sich durch ihre Helligkeit auch vom Bildhintergrund ab, für den Landschaftsbildeindruck ist sie jedoch nicht signifikant.



Abbildung 49: Solaranlage Mühlhausen, Beobachtungspunkt 5, 4000 m westlich der Anlage

Anteil der Anlage im Blickfeld (Objektivbrennweite 70 mm):

- Horizontal: 3 %
- Vertikal: <1 %

Bewertung der Landschaftsbildveränderung

Der durch das Relief begrenzte Sichtraum der Anlage ist bedingt durch die Lage in einem relativ weiten Talraum groß. Starke Einschränkungen des Sichtraums entstehen dagegen durch viele sichtverschattende Landschaftselemente (Grundwasserspeicher, Ortslagen, Gehölze, Hecken). Blickbeziehungen ergeben sich daher zum einen von einigen Sektoren im Nahbereich (Abstand bis max. 750 m) sowie darüber hinaus aus größerer Entfernung von wenigen höher gelegenen Standorten. Durch die Konstruktion der Anlage kann kurzfristig eine erhöhte Auffälligkeit der Anlage durch Lichtreflexe gegeben sein. Wegen der Lage in der Nähe zu anderen Vorbelastungen, die im Erscheinungsbild dem Solarpark ähneln (v.a. Kanal



und Speicherbecken, Hallendächer) ist die Empfindlichkeit des Landschaftsbildes eher gering.

Übersicht der Ergebnisse der Landschaftsbilduntersuchungen

Eine Zusammenstellung der in der Praxisuntersuchung Landschaftsbild ermittelten Sachverhalte gibt Tabelle 20:

Tabelle 20: Ergebnisse der Praxisuntersuchung (Landschaftsbild)

Standort	Beobachtungspunkt		Anteil am Blickfeld (%)		zusätzliche Faktoren		Dominanz
	Nr.	Entfernung	horizontal	vertikal	vermindernd	verstärkend	
Erlasee	1	300	26	2,7		E, HU	<i>dominant</i>
	2a	400	40	3			<i>subdominant</i>
	2b	700	15	1,6	AS	E	<i>subdominant</i>
	3	1200	51	<1	SV	HL	<i>subdominant</i>
	4	1300	2 x 8	<1	SV		<i>marginal</i>
	5	2000	7	<1			<i>nicht signifikant</i>
	6	3200	37	<1	SV		<i>marginal</i>
Markstetten	1	150	65	1,8		HL	<i>dominant</i>
	2	300	72	4		F	<i>dominant</i>
	3	600	22	1,8	SV, AS		<i>marginal</i>
	4 (Winter)	800	21	4		F	<i>subdominant</i>
	4 (Sommer)	800	21	4	SV	F	<i>marginal</i>
	5	300					<i>nicht signifikant</i>
Mühlhausen	1	50	>100	17		E	<i>dominant</i>
	2	500	45	<1			<i>subdominant</i>
	3	750	66	3		F	<i>dominant</i>
	4	3000	18	1,5		F	<i>subdominant</i>
	5	4000	3	<1			<i>nicht signifikant</i>

Erläuterung der zusätzliche Faktoren:

Dominanz vermindernd: SV = teilweise Sichtverschattung,
AS = aufgelöste Struktur,
Dominanz verstärkend: E = Einzelemente zu erkennen,
F = flächig erscheinende Anlage,
HL = in Horizontlinie liegend,
HÜ = Horizontüberhöhung.

Insgesamt zeigt sich, dass die untersuchten Solarparke durchaus weiträumige Wirkungen auf das Landschaftsbild entfalten. Als *dominant* eingestufte Wirkungen wurden bis in eine Entfernung von rd. 750 m vom Anlagenstandort beobachtet. Subdominante Wirkungen konnten im Einzelfall bis zu einer Entfernung von 3 km festgestellt werden.

Bei der Bewertung der Erheblichkeit von Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds ist zusätzlich die Empfindlichkeit und die Bedeutung des Landschaftsbildes zu berücksichtigen. Insbesondere beim Standort Mühlhausen ist festzustellen, dass aufgrund der vorhandenen Vorbelastungen des Landschaftsbild die Beeinträchtigungsintensität der Auswirkungen stark vermindert ist.

7 Wirkungsprognosen für Tiere und Pflanzen

Die im Folgenden zusammengestellten Wirkungsprognosen basieren auf

- einer gezielten Auswertung der zugänglichen Fachliteratur,
- der Anfrage bei Fachbehörden und –verbänden,
- der Befragung von Fachleuten sowie
- den Ergebnissen der durchgeführten Praxisuntersuchungen (vgl. Kap. 6).

Die Ergebnisse der Recherchen werden in den entsprechenden Textpassagen durch die Quellenangaben benannt. Offene Fragen bzw. Kenntnislücken, die für die Beurteilung der Umweltwirkungen von PV-FFA relevant sein könnten, werden abschließend in Kap. 10, S. 149 ff. dargestellt.

Es sei jedoch bereits an dieser Stelle ausdrücklich betont, dass PV-FFA aufgrund ihrer individuellen Charakteristik (z.B. bezüglich Modultyp, Vornutzung, vorhandener Artenvorkommen vor der Nutzung, Nutzungsregime vor und nach der PV-Nutzung) stets einer individuellen Betrachtung bedürfen. Verallgemeinernde Aussagen zu den einzelnen Umweltwirkungen sind daher nur eingeschränkt möglich.

7.1 Auswirkungen von PV-FFA durch die Veränderung abiotischer Standortfaktoren

7.1.1 Auswirkungen durch die Veränderung des Untergrunds

Das Ausmaß der baubedingten Auswirkungen auf die Vegetation darf nicht unterschätzt werden. Je nach Modultyp und Aufständerungsmethode sind diese jedoch sehr unterschiedlich. Bei großen Anlagenteilen, die nur mittels schwerer Baufahrzeuge bewegt werden können, ist von einer deutlichen Bodenverdichtung und großflächiger Schädigung der vorherigen Vegetationsdecke auszugehen. Die Bodenverdichtung kann zu einer nachhaltigen Änderung der abiotischen Standortfaktoren (z.B. zunehmende Staunässe) und damit z.B. zu einer Veränderung der Vegetationszusammensetzung führen. Aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes relevant sind diese Effekte vor allem dann, wenn bereits vorhandene wertvolle Lebensraumtypen betroffen sind. Auf intensiv genutzten Ackerflächen oder stark überprägten Konversionsstandorten ist das Konfliktpotenzial aufgrund der Vorbelastungen in der Regel deutlich geringer.

Einige PV-Freiflächenanlagen werden gezielt durch Aufbringen von Mutterboden und nachfolgende Wieseneinsaat für eine nachfolgende effektive Pflegenutzung (Beweidung oder Mahd) vorbereitet. Bei Standorten auf Konversionsflächen, insbesondere bei ehemaligen industriellen Lagerflächen oder Deponien, ist der vorhandene Untergrund in einigen Fällen z.B. aufgrund von Kontamination mit Schadstoffen oder aus Gründen der Tragfähigkeit nicht geeignet. Hier wurde in einigen Fällen eine Abdeckung des vorhandenen Oberbodens mit geeignetem Bodenmaterial zur Auflage durchgeführt. Je nach Beschaffenheit des alten Oberbodens bzw. des neu aufzubringenden Bodenmaterials muss dies jedoch aus



naturschutzfachlicher Sicht nicht zwangsläufig negativ zu beurteilen sein. So können z.B. bei Aufbringung nährstoffarmer Materialien (z.B. Sandboden) in relativ kurzer Zeit hochwertige Lebensräume entstehen, wie dies z.B. für Spülfelder, Kiesabbauflächen o.ä. dokumentiert ist. Wenn es sich dagegen um nährstoffreiche Substrate handelt, ist das naturschutzfachliche Entwicklungspotenzial der Fläche in der Regel sehr eingeschränkt.

Naturschutzfachlich wünschenswert ist es, zumindest auf Teilflächen eine natürliche Eingrünung zuzulassen. Hierdurch wird einer Vielzahl von Tieren und Pflanzen der unterschiedlichen Sukzessionsstadien (einschließlich der schützenswerten Ackerbegleitflora) eine gewisse Zeit Lebensraum geboten. Der Aufwand für die Mahd und spätere Beweidung derartiger Flächen kann dann jedoch höher liegen als bei homogenen Ansaatflächen. Dennoch entwickeln sich auch diese bei extensiver Pflegenutzung zu Lebensräumen, die für viele Tier- und Pflanzenarten der heutigen Kulturlandschaft wichtige Rückzugs- und Trittsteinbiotope bilden und auch Lebensraum für einige seltene Arten darstellen können.

Für den Bau, den Transport und die Aufstellung der Module und deren Halterungen sind in vielen Fällen größere Transportfahrzeuge oder Baumaschinen notwendig. Je nach Beschaffenheit des Untergrundes sind hierfür unter Umständen auch befestigte Baustraßen, Lagerflächen oder Kranstellplätze notwendig. Insbesondere bei anhaltender Bodennässe z.B. nach starken Niederschlägen können durch den Bauverkehr gravierende Schädigungen der Vegetation oder des Oberbodens auftreten. In einigen Fällen musste die Befahrbarkeit durch Aufbringung von Schottermaterial gewährleistet werden. Diese in der Regel standortuntypischen Substrate führen zu nachhaltigen Veränderungen der Tier- und Pflanzenlebensräume. Eine pauschale naturschutzfachliche Beurteilung ist nicht möglich, jedoch sind bei nährstoffarmen, standortgerechten Substraten durchaus auch positive Effekte zu erwarten, da sich unter Umständen wertvolle (Pionier-) Standorte entwickeln können. Das Aufbringen von Recyclingschotter unbestimmten Inhaltes o.ä. sollte dagegen unbedingt vermieden werden. Zudem ist sicherzustellen, dass die ursprünglichen Standortfaktoren möglichst erhalten bleiben, d.h. es sollen z.B. keine alkalischen Substrate in anmoorige Böden eingebracht werden und umgekehrt.

Ein weiterer potenzieller Konfliktpunkt sind die Fundamente der Modulhalterungen. Vergleichsweise geringe Beeinträchtigungen sind durch die zunehmend eingesetzten Pfahlgründungen (in den Boden gerammte oder mit sog. „Erddübeln“ geschraubte Metallrohre als Tragekonstruktion für die Module) zu erwarten. Größere „Schwerkraffundamente“ (z.B. aus Beton oder mittels Gabionen, vgl. Abbildung 50) beanspruchen erheblich mehr Platz und führen zu mehr Bodenversiegelungen und damit auch Lebensraumverlusten. Andererseits können z.B. Gabionen durchaus die strukturelle Vielfalt eines Standortes erhöhen, z.B. als Versteck oder Winterquartier für kleine Wirbeltiere.



Abbildung 50: Beispiel für ein Gabionenfundament (Steine in Stahlkorb)

7.1.2 Auswirkungen durch ein verändertes Nutzungsregime

Vornutzung Acker

Die Planung von PV-FFA auf vormals meist intensiv als Acker genutzten Flächen betrifft einen Lebensraumtyp, der sich durch die folgenden Merkmale charakterisieren lässt (Übersicht z.B. in [68]):

- sehr große flächige Ausprägung in allen Naturräumen Deutschlands, daher z.T. große Unterschiede bzgl. Bodentyp und –güte sowie der Landschaftscharakteristik (z.B. Börde, Hügelland, Marsch),
- in der Regel regelmäßiger Einsatz von Pestiziden und Dünger, dadurch stark reduzierte biologische Vielfalt,
- regelmäßige mechanische Bearbeitung des Bodens (z.B. Bodenumbruch, Eggen),
- saisonal gravierende Wechsel bezüglich der Habitatstrukturen (z.B. Schwarzbrache, verschiedene Feldfrüchte im Rahmen der Fruchtfolge),
- sehr geringe standörtliche Vielfalt durch moderne landwirtschaftliche Verfahren,
- schnelle Wiederherstellbarkeit.

Der naturschutzfachliche Wert von Ackerflächen ist in der Regel relativ gering. Dennoch können zahlreiche Arten Ackerflächen - meist als Sekundärhabitat – besiedeln oder sind zeitweise, z.B. während des Durchzugs, auf die großräumige Ackerlandschaft angewiesen [32]. Viele dieser Arten weisen aktuell einen schlechten Erhaltungszustand (z.B. Einstufung in eine Rote Liste-Kategorie) auf, was vor allem auf zwei Faktoren zurückzuführen ist:

1. großflächige Ausprägungen der Primärlebensräume dieser Arten sind selten geworden, was z.B. für einige ursprüngliche Röhricht-, Hochstaudenfluren oder steppenartiges Grasland besiedelnde Arten wie Wiesenweihe *Circus pygargus*, Rohrweihe *C. aeruginosus* und Wachtel *Coturnix coturnix* zutrifft;



2. die zunehmende Intensivierung und Monotonisierung der Ackernutzung hat auch für einst häufige Arten der Ackerflächen die Lebensbedingungen extrem verschlechtert; dies gilt z.B. für viele Ackerwildkräuter, den Feldhamster [2], viele Vogelarten [32] und einige Laufkäferarten [62].

Die regelmäßig auf Ackerflächen siedelnden Arten müssen an die o.g. teilweise extremen Veränderungen der Standortfaktoren angepasst sein, was z.B. durch eine hohe Reproduktionsrate oder eine hohe Mobilität, die eine schnelle Wiederbesiedlung der Ackerflächen nach Umbruch erlaubt, erfolgen kann. Viele Tierarten nutzen Ackerflächen nur saisonal, z.B. als Brut- oder Aufzuchtshabitat während der deckungsreichen Vegetationsperiode. Aus der hohen strukturellen Dynamik der Ackerflächen durch die vorgegebenen saisonalen Betriebsabläufe oder die Fruchtfolge folgt aber auch eine hohe räumliche Flexibilität dieser Arten, d.h. ein Ausweichen auf Nachbarflächen ist in der Regel möglich.

Manche Arten nutzen die Ackerflächen ausschließlich als Rast- und Nahrungshabitat, was z.B. auf durchziehende Kraniche, Limikolen wie Goldregenpfeifer und viele nordische Gänsearten zutrifft.

Aus naturschutzfachlicher Sicht können Ackerlandschaften somit aufgrund besonderer funktionsökologischer Aspekte unter bestimmten Umständen einen hohen Wert erreichen:

- Bedeutung als Rast- und Nahrungsfläche für Zugvögel (v.a. herbivore Gänse und Enten, Kraniche, Limikolen). Die Vögel können dabei traditionelle Bindungen an bestimmte Gebiete haben, die zudem oft in der Nähe wichtiger Schlafplätze o.ä. liegen,
- Bedeutung als (traditionelles) Fortpflanzungsgebiet für stark bedrohte Arten (z.B. Großtrappe, Wiesenweihe, Feldhamster). Die genannten Vogelarten nutzen traditionell bestimmte Regionen als Brut- und Aufzuchtgebiet. Ein großflächiger Entzug von geeigneten Offenlandschaften kann somit Auswirkungen auf die Populationen dieser Arten haben. Der Feldhamster ist heute eine der gefährdetsten Säugetierarten Deutschlands und kommt nur noch in isolierten Restpopulationen vor. PV-FFA-Planungen im Verbreitungsgebiet dieser Art sind daher grundsätzlich besonders konflikträftig und prüfbedürftig,
- standörtliche Besonderheiten wie Extensiväcker (u.a. Kalkscherbenäcker im Jura und Muschelkalk), besondere Standortfaktoren (z.B. seltene Bodentypen), oder eine hohe Dichte eingestreuter Inselbiotope (z.B. Sölle, Porphyrkuppen),
- Bedeutung als wichtiger Teillebensraum oder wichtige Verbundachse für besonders schutzwürdige Arten aus angrenzenden Gebieten (z.B. Jagdgebiet Rotmilan, Verbindungskorridor zwischen Gewässern z.B. für Biber, Fischotter),
- Funktion als Puffer zu Kernlebensräumen hochsensibler Arten (z.B. Großvogelbrutplätze o.ä.).



Gleichzeitig kann festgestellt werden, dass PV-FFA-Planungen auf Ackerflächen, für die die o.g. Kriterien nicht zutreffen, ein vergleichsweise geringes Konfliktpotenzial mit den Zielen des Arten- und Biotopschutzes aufweisen.

Die Reaktion von Rastvogelbeständen (v.a. Gänse, Schwäne, Limikolen wie z.B. Goldregenpfeifer oder Kiebitz) auf PV-FFA in offenen (Acker-) Landschaften konnte im Rahmen der eigenen Untersuchungen nicht geklärt werden, da in den ausgewählten Gebieten keine größeren Vorkommen dieser Arten präsent waren.

Es ist aber davon auszugehen, dass die mit PV-Modulen bestandenen Bereiche von einigen dieser Arten nicht mehr als Äsungs- bzw. Rastgebiete genutzt werden können. Gleiches gilt für einige ausschließlich im Offenland brütende Vogelarten. Die Reichweite der „Raumwirkung“, insbesondere die möglicherweise von empfindlichen Vögeln zu PV-FFA eingehaltenen Mindestabstände, kann derzeit noch nicht quantifiziert werden. Wesentliche Faktoren dürften auch hier die Höhe der Anlagen und die Art der Abzäunung (Silhouetteneffekt) sein. Dieser Lebensraumzug ist bei anstehenden Genehmigungsverfahren zu berücksichtigen und möglichst zu quantifizieren. Bei ausreichendem Angebot gleich geeigneter Ausweichflächen im Umfeld der Planung (z.B. in ausgedehnten Ackerlandschaften) ist der Konflikt naturgemäß gering.

Durch die vorhabensbedingte Umwandlung der Ackerflächen in Grünflächen (i.d.R. Dauergrünland mit extensiver Mäh- oder Weidenutzung, Unterlassen von Düngung und Verzicht auf den Einsatz von Pestiziden) sind für die Mehrheit der betroffenen Zönosen in großflächigen Ackerlandschaften Verbesserungen zu erwarten. Dies gilt vor allem für die Wirbellosen, aber auch für viele kleinere Wirbeltiere (Reptilien, Amphibien, Kleinsäuger). Die PV-FFA können sich somit durchaus zu „Trittsteinbiotopen“ bzw. Rückzugsräumen für viele in der heutigen Kulturlandschaft eher seltene Arten entwickeln. Durch eine starke Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte in der Planung kann diese Biotopfunktion gefördert werden.

Konversionsstandorte

Konversionstandorte umfassen ein weites Spektrum von Standorten. Industriell genutzte Flächen mit hohem Versiegelungsgrad oder starker Überformung der vorhandenen Böden (z.B. Abraumhalden, Absetzbecken) sind im Allgemeinen von nachrangigem Wert. Konversionsflächen können aber auch ein vergleichsweise hohes Konfliktpotenzial erreichen, insbesondere dann, wenn es sich um großflächig offene und relativ ungestörte Bereiche wie z.B. Bergbaufolgelandschaften handelt. Durch die zunehmende Uniformität der heutigen Kulturlandschaft können derartige Sonderstandorte mit stark abweichenden Standortfaktoren wichtige Sekundär- oder Rückzugslebensräume für seltene Lebensgemeinschaften darstellen.

Aus naturschutzfachlicher Sicht hochwertig sind häufig militärische Konversionsstandorte, insbesondere solche mit langer Nutzungsgeschichte und mit einem hohen Anteil an nicht versiegelten Freiflächen, wie dies z.B. für Panzerübungsplätze oder Schießplätze gilt.



Bei ehemaligen militärischen Flugplätzen sind in der Regel große Flächen vollständig versiegelt (z.B. Start- und Landebahnen, Hangar- und Stellflächen) und auch die Schutzstreifen neben den Landebahnen sind meist intensiv gepflegt, so dass für eine PV-Nutzung oft ausreichend große, aus naturschutzfachlicher Sicht weniger konfliktrichtige Bereiche zu finden sind.

Von einem erhöhten Konfliktpotenzial der Konversionsflächen ist daher auszugehen, wenn eines oder mehrere der folgenden Kriterien auf die Planung zutreffen:

- die Flächen sind nicht oder nur wenig versiegelt,
- die Flächen sind weiträumig offen (besonnt),
- die Flächen liegen auf nährstoffarmen Böden und weisen keine vornutzungsbedingten hohen Einträge von Nährstoffen auf,
- die Flächen waren keiner flächendeckenden intensiven mechanischen Bodenbearbeitung ausgesetzt,
- die Flächen waren relativ störungsarm (d.h. keine permanente Anwesenheit von Menschen, Fahrzeugen oder Maschinen),
- die Flächen liegen an stark exponierten Hängen,
- die Flächen weisen strukturelle Besonderheiten (z.B. Geröll, spaltenreiche Ruinen, Gewässer, hoher Totholzbestand) auf.

Versiegelte Flächen

Vollständig versiegelte Flächen - im Sinne einer Oberflächenabdichtung des Bodens - sind in aller Regel für den Arten- und Biotopschutz von nachrangiger Bedeutung und unter diesem Gesichtspunkt für eine PV-FFA-Nutzung gut geeignet. Dennoch können unter bestimmten Voraussetzungen, z.B. beim notwendigen Abriss von alten Gebäuden, die u.U. eine Quartierfunktion für Fledermäuse aufweisen können, auch dort Konflikte auftreten. Auch teilversiegelte Flächen wie z.B. Schotterfluren, die noch eine gewisse Wasserdurchlässigkeit aufweisen, sind diesbezüglich hervorzuheben. Die Lebensfunktion sollte hier im Einzelfall überschlägig geprüft und bei Hinweisen auf bemerkenswerte Vorkommen ggf. genauer bewertet werden (s. Kap. 8.2.1)

7.1.3 Auswirkung durch die Überschirmung von Tier- und Pflanzenlebensräumen durch Module

Auswirkungen durch die Beschattung

Veränderungen in der Vegetationsstruktur sind v.a. unter den bzw. nördlich der Module möglich, da hier eine signifikante Reduzierung des einfallenden Sonnenlichtes eintritt. Flächen östlich und westlich der Module werden zwar durch die dann tiefstehende Sonne überproportional beschattet, allerdings ist die Beschattungsdauer im Gegensatz zu den unter den Modulen liegenden Flächen hier recht kurz. Die reduzierte Solarstrahlung resultiert in einer Herabsetzung der Primärproduktion der Pflanzen und einer Differenzierung bezüglich der Standorteignung für lichtliebende Pflanzenarten. Dies kann zu Unterschieden hinsichtlich



der Wuchshöhe, der Blühhäufigkeit oder der erreichten Deckungsgrade einzelner Arten der Pflanzengemeinschaften führen. Beschattungseffekte auf die Vegetation sind somit zu erwarten und konnten z.T. auch belegt werden [24]. Die Effekte sind stark abhängig von der Art der Aufstellung der Module, insbesondere der Größe der zusammenhängenden Modulfläche und deren Höhe über Grund. Durch Lichtmangel verursachte dauerhaft vegetationsfreie Bereiche sind aufgrund des Einfalls von Streulicht bei den typischen Aufstellweisen der PV-FFA auszuschließen.

Diese Veränderungen der Vegetation können auch unmittelbare Auswirkungen auf die Habitataignung für Tiere (z.B. das Angebot an offenen Blüten für Blütenbesucher) haben. Zudem wird die Raumnutzung vor allem sonnenliebender Arten beeinflusst, wie die eigenen Untersuchungen zeigten. Oft werden diese Effekte jedoch durch nutzungsbedingte Faktoren - bei beweideten Flächen etwa die überproportional starke Frequentierung durch schattensuchende Schafe, bei gemähten Flächen z.B. die eingeschränkte Zugänglichkeit für den Mäher unter den Modulen – überlagert, so dass die Beurteilung dieses Wirkfaktors auf der Grundlage von Geländeuntersuchungen erschwert wird.

Bei PV-Anlagenstandorten, die auf ehemals naturschutzfachlich weniger wertvollen Biotopen (Intensiväckern) entstehen, sind auch Auswirkungen der Beschattung auf die Lebensgemeinschaften anzunehmen. Diese sind jedoch naturschutzfachlich nicht bedeutsam, und zwar unabhängig davon, ob es sich um eingesäte Flächen oder um Sukzessionsflächen handelt. Tierarten, die diese Flächen nach der Bauphase besiedeln (oder auf ihnen überdauern können), finden den aufgrund der Beschattungsverhältnisse strukturierten Lebensraum bereits so vor.

Eine andere Situation tritt ein, wenn PV-Anlagen auf bereits wertvollen Biotopen erstellt werden, wie dies z.B. auf militärischen Konversionsflächen mit Mager- oder Trockenrasenvegetation möglich ist. Hier würden die vorherrschenden abiotischen Verhältnisse in Folge der Beschattung deutlich verändert. So könnte beispielsweise ein Sandmagerrasen mit schonenden Bauverfahren zwar ganz oder teilweise mit PV-Modulen überbaut werden, ohne dass die Vegetation baubedingt stark geschädigt würde. Für die dort lebenden wärme- oder trockenheitsliebenden Heuschreckenarten (oder andere Arten wie Sandlaufkäfer, Wildbienen, Ameisenjungfern etc.) würden sich die Lebensbedingungen jedoch ändern, da die stark beschatteten Anteile der Flächen in ihrer Lebensraumeignung abnehmen. Hier dürfte es dann zu einer Veränderung der Raumnutzung der Arten kommen, die sich zwischen besonnten und beschatteten Bereichen unterscheidet. Wie groß oder gravierend diese Auswirkungen auf der Populationsebene für die einzelnen betroffenen Arten wären, kann nur im Einzelfall entschieden werden. Sie sind je nach Tierart und konkreter Ausprägung des Standorts (z.B. Habitatstruktur, Ausdehnung, Vorbelastungen, Größe der regelmäßig beschatteten Fläche im Verhältnis zu den unbeschatteten Flächen) unterschiedlich. Eine pauschale Bewertung kann daher an dieser Stelle nicht erfolgen. Es ist jedoch in derartigen Fällen aus fachlicher Sicht zwingend erforderlich, den Beschattungseffekt in die (Umwelt-) Prüfung einzubeziehen.



Die naturschutzfachliche Bewertung der Beschattung ist dennoch schwierig. Auch natürliche Lebensräume wie gebüschreiche Halboffenlandschaften weisen ein Mosaik mehr oder weniger stark beschatteter Bereiche auf. Auch die großflächigen Trocken- und Magerrasenflächen z.B. auf ehemaligen militärischen Liegenschaften sind fast ausschließlich durch gezielte Pflegemaßnahmen (z.B. Abbrennen, Entkusseln) oder durch den Übungsbetrieb offen gehalten worden. Mit dem Rückzug des Militärs hat auf den meisten militärischen Konversionsstandorten eine Gehölzsukzession eingesetzt, die zu einer großen Herausforderung für den Naturschutz geworden ist. Dort, wo der amtliche oder private Naturschutz nicht in der Lage ist, geeignete Pflegemaßnahmen durchzuführen, kann eine eng mit den Naturschutzzielen abgestimmte PV-Nutzung in Verbindung mit entsprechenden Pflegeauflagen dazu beitragen, diese Flächen zumindest teilweise zu sichern.

Auswirkungen durch die Veränderung des Niederschlagsregimes bzw. des Bodenwasserhaushaltes

Ein weiterer Effekt der Überschirmung ist die Veränderung der Niederschlagscharakteristik (v.a. Regen, Schnee, Tau) unterhalb der Module. Hier ist der natürliche Feuchtigkeitseintrag entsprechend reduziert. Die eigenen Geländeerhebungen wie auch weitere Untersuchungen (z.B. [24], [52]) erbrachten keine *signifikanten Belege* einer hierdurch verursachten Veränderung der Vegetation z.B. durch eine Häufung von Trockenzeigern. Trockenheitsbedingte Kahlstellen o.ä. wurden ebenfalls nicht beobachtet, da der Feuchtigkeitseintrag (z.B. durch vom Wind verwehtem Regen oder Tau oder durch die Kapillarkraft des Bodens) ausreicht. Inwieweit hieraus langfristig Verschiebungen in der Vegetationszusammensetzung entstehen können, kann derzeit nicht beantwortet werden, da die vorhandenen PV-FFA für eine Dokumentation langfristiger Effekte noch zu jung sind.

Bei Schneelagen können sich jedoch deutliche Unterschiede zwischen den überschirmten und den offen liegenden Flächen ergeben (vgl. Abbildung 23, S. 65), die dann z.B. für einige Vogelarten wertvolle Nahrungshabitate darstellen können. Gleichzeitig können durch den meist relativ gerichteten Ablauf des Regenwassers im Abtropfbereich kleinflächige Veränderungen der Vegetation auftreten.

Auswirkungen durch Erosion

Bei Planungen in reliefarmen Landschaften mit wasserdurchlässigen Böden treten derartige Konflikte in der Regel nicht auf. Bei Anlagen auf vegetationsarmen, bindigen Böden in Hanglage ist Erosion durch ablaufendes Oberflächenwasser (von den Modulen gerichtet ablaufendes Regenwasser) nicht auszuschließen [52]. Die Erosionswahrscheinlichkeit wird maßgeblich durch die Größe der zusammenhängenden Modulfläche und deren Konzentrationswirkung für ablaufendes Regenwasser bestimmt. Erhebliche Konflikte mit den Zielen des Arten- und Biotopschutzes sind nur dann zu erwarten, wenn unterhalb der Module gegenüber Stoffeinträgen besonders empfindliche Lebensräume liegen (z.B. oligotrophe Kleingewässer). Kleine, temporäre „Erosionsrinnen“ können dagegen auch die strukturelle Standortvielfalt erhöhen und sind aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes nicht als erhebliche Beeinträchtigung aufzufassen. Durch eine angepasste Planung (z.B. Lücken für den Wasserablauf zwischen den einzelnen Modulen, Verwaltung vor empfindlichen Lebensraumtypen, Anlage von Rigolen) sind Konflikte durch Erosion leicht zu vermeiden.

7.2 Auswirkungen von PV-FFA durch Barrierewirkungen oder als vertikales Hindernis

7.2.1 Barrierewirkung und Meidung durch Tiere

Durch die Abzäunung des Betriebsgeländes werden größere Tiere in der Regel ausgesperrt. Die eingezäunten Flächen stehen dann nicht mehr als Teillebensraum zur Verfügung, was unter Umständen für Tiere mit großem Raumbedarf als Beeinträchtigung einzustufen ist. Neben dem Entzug des Lebensraumes können auch traditionell genutzte Verbundachsen oder Wanderkorridore unterbrochen werden, so dass Teillebensräume zerschnitten werden.

Die eigenen Untersuchungen und auch die sonstigen recherchierten Daten weisen darauf hin, dass keine grundsätzliche Meidung von PV-FFA durch Groß- und Mittelsäuger zu erwarten ist, sondern nach einer kurzen Gewöhnungsphase die Fläche weiter genutzt wird. Dies deckt sich auch mit Untersuchungen zur Störwirkung von Windkraftanlagen (WKA) auf heimische Wildarten [48]. Für alle vorkommenden Wildarten wurde dort in allen Gebieten ganz überwiegend eine flächendeckende Nutzung - auch des Nahbereiches der WKA - bestätigt. Insgesamt konnte eine Meidung bestimmter Areale nicht nachgewiesen werden. Das Wild scheint sich an das Vorhandensein und den Betrieb von WKA gewöhnen zu können, da sie eine „in Raum und Zeit kalkulierbare Störquelle“ darstellen.

Durch baubedingte Auswirkungen (Lärm, Gerüche, nächtliche Lichtemissionen) und durch regelmäßige Anwesenheit von Menschen oder Wachhunden kann es allerdings zu einer zeitweisen Meidung der Flächen kommen.

Die oft zu beobachtende Zunahme der Biodiversität in den PV-FFA durch extensive Grünlandnutzung bedingt für einige Arten eine Zunahme des Nahrungsangebotes (z.B. Gräser und Kräuter bei herbivoren Weidegängern, Kleinsäuger wie Feldmaus und Spitzmäuse und damit auch für Raubtiere wie Fuchs und Marderartige).

7.2.2 Vertikales Hindernis (Kollisionsrisiko)

Ein Kollisionsrisiko für fliegende Tiere (Vögel, Fledermäuse, Fluginsekten) ist bei PV-FFA theoretisch gegeben, da diese als „Hindernisse“ in den Luftraum ragen und möglicherweise unter bestimmten Umständen (z.B. sehr schlechte Sichtbedingungen) nicht rechtzeitig als solche wahrgenommen werden können. Dieses Risiko unterscheidet sich jedoch nicht von dem anderer Hindernisse wie z.B. Gehölzen oder Gebäuden und ist bei der Eingriffsbeurteilung wohl vernachlässigbar. Kollisionen, wie sie von Leuchttürmen, Windenergieanlagen oder ähnlichen Bauwerken bekannt sind und dort z.T. zu zahlenmäßig hohen Verlusten führen können (z.B. [22]; [25]) wurden an PV-FFA bisher nicht festgestellt. Die geringe Höhe der derzeit verwendeten PV-Anlagen, das Fehlen von Lichtquellen, die in Regel sehr kompakten Bauweise und das Fehlen von schnell bewegten Anlagenteilen wie z.B. die Rotorspitze einer Windkraftanlage lässt dieses Risiko zudem als äußerst gering erscheinen.



Anders sind die von einigen Antragstellern geplanten Drahtseilzüge zur synchronen Nachführung der Module mittels (zentraler) Elektromotoren zu bewerten. Diese Seilzüge stellen möglicherweise für im Flug jagende Greifvögel (insbesondere Sperber und Habicht) eine Gefährdungsursache dar. Gleiches gilt auch für Maschendrahtzäune, in denen Vögel verunglücken können, wie dies z.B. von Weidezäunen bekannt ist. Die Gefahr ist geringer bei engmaschigen, gut sichtbaren (z.B. kunststoffummantelten) Zäunen. Bei den eigenen Untersuchungen wurden jedoch keine derartigen Kollisionsereignisse beobachtet.

Für Fledermäuse können diesbezügliche Risiken sicher ausgeschlossen werden, da diese Tiere ihre Umwelt v.a. durch Echoortung, aber auch durch optische Wahrnehmung gut auflösen können. Bei „aktiver“ Echoortung sind Kollisionen auch mit kleineren Bauteilen oder Zäunen sicher auszuschließen. In einigen Fällen fliegen Fledermäuse jedoch auch ohne Echoortung, z.B. wenn sie Langstreckenflüge in großen Höhen unternehmen (z.B. [43]) oder in sehr vertrauten Umgebungen wie z.B. innerhalb von Quartieren bzw. beim Ausfliegen aus dem Quartier. Diese Situationen treten bei den relativ bodennah in Freiflächen positionierten PV-Modulen jedoch nicht auf.

Kollisionen aufgrund des versuchten „Hindurchfliegens“ (wie bei transparenten Glasscheiben oder Lärmschutzwänden) sind aufgrund des Neigungswinkels der Module und der fehlenden Transparenz sicher auszuschließen.

7.3 Auswirkungen von PV-FFA durch visuelle Wirkungen

7.3.1 Wirkfaktor Silhouetteneffekt und Wahrnehmbarkeit der Module

Starke Lichtemissionen können bei Zugvögeln zu Irritationen und damit zu Störungen des nächtlichen Zuges führen ([1], [16], [66]). Die Lichtemissionen durch PV-FFA (z.B. Beleuchtung der Betriebsgebäude) sind, wenn überhaupt vorhanden, sehr gering und allenfalls im Nahbereich als potenziell beeinträchtigend einzustufen.

Naturgemäß wird der Silhouetteneffekt maßgeblich von der Höhe der Anlagen, dem Landschaftsrelief und dem Vorhandensein von weiteren Vertikalstrukturen (z.B. Gehölze, Freileitungen, Gebäude) bestimmt. Im Vergleich zu den fest installierten Modulreihen kommt den einzeln stehenden „Movern“ ein höheres Konfliktpotenzial zu, da diese in der Regel höher sind. Andererseits ist der Abstand zwischen den Movern meist größer. Aufgrund der (z.B. im Vergleich zu einer WEA oder einem Baum) relativ geringen Gesamthöhe der meisten PV-FFA ist jedoch kein ausgeprägtes, weit in die Nachbarschaft ausstrahlendes Meideverhalten durch diese Arten zu erwarten, wie dies z.B. für Windparks beschrieben wurde (z.B. [19], [36]). Etwaige Störungen sind somit auf den Aufstellbereich und den unmittelbaren Umgebungsbereich begrenzt. Es handelt sich im Gegensatz zu WEA auch nicht um „bewegte Silhouetten“, von denen eine höhere Störwirkung ausgehen dürfte. Die geringfügigen und langsamen Bewegungen der nachgeführten Anlagen sind als Störreiz für die Tierwelt unerheblich.

Die Auffälligkeit der Module z.B. durch eine von der Umgebung abweichende Farbe oder größere Helligkeit (Reflexion von gestreutem Licht) ist nur für das Landschaftsbild von



Bedeutung, nicht jedoch für Tiere (ausgenommen etwaige Effekte durch die Reflexion bestimmter für die Orientierung relevanter Lichtspektren. Insbesondere die „ästhetische Unterscheidung“ von technischen (PV-Modul) und natürlichen Silhouetten (z.B. Baum), die sich für Menschen zwangsläufig ergibt und in der Regel mit einer Wertung verbunden ist, dürfte für die Tierwelt unbedeutend sein.

Dennoch ist davon auszugehen, dass der Aufstellbereich der Module und dessen Umfeld als Rast- oder Nisthabitat für gegenüber Vertikalstrukturen besonders empfindliche Arten im Wert gemindert wird. Hierzu zählen einige Wiesenvogelarten sowie auch rastende Wasservögel. Quantifizieren (z.B. durch Angabe von Mindestabständen äsender Gänse zu PV-FFA) lässt sich dieser Effekt derzeit jedoch nicht, da die vorliegenden Untersuchungen diesbezüglich keine Ergebnisse erbringen konnten (vgl. Kap. 10.3.2). Hier sind weitere Untersuchungen in besser geeigneten Gebieten abzuwarten.

7.3.2 Wirkfaktor Reflexion: Blendwirkung

Die Reflexion könnte zu einer Beeinträchtigung von Tierlebensräumen oder einer Störung von Tieren und Menschen in der Nachbarschaft z.B. durch Lichtblitze oder eine von sehr hellen Flächen ausgehende Blendwirkung führen, wodurch auch das Landschaftserleben beeinträchtigt werden kann (vgl. Kap. 8). Dies ist insbesondere spürbar, wenn es zu schnellen Veränderungen des Beobachtungswinkels kommt, z.B. durch bewegte Anlagenteile (s. „Disco-Effekt“ bei älteren Windenergieanlagen ohne besondere reflexionsarme Anstriche) oder auch durch Bewegung des Betrachters (z.B. auf vorbeiführenden Straßen).

Das Reflexionsverhalten ist u.a. stark abhängig vom Einfallswinkel des Lichtes. Bei Glasoberflächen ist eine verstärkte Reflexion ab Einfallswinkeln $< 40^\circ$ zu erwarten, bei sehr geringen Einfallswinkeln ($< 2^\circ$) kann es sogar zu einer Totalreflexion kommen. Diese Werte sind naturgemäß nur bei sehr tiefem Sonnenstand (morgens und abends) zu erreichen und sind zeitlich eng befristet. Bei streuenden Oberflächen ist das reflektierte Licht jedoch bereits ab Distanzen von rd. 30 m nur noch als helle Fläche (ähnlich dem bedeckten Himmel) wahrnehmbar [52].

Hinsichtlich des potenziell betroffenen Raumes ist zwischen nachgeführten Anlagen und festen Modulinstallationen zu unterscheiden.

- Bei *festinstallierten Anlagen* sind aufgrund der Reflexionscharakteristik des Sonnenlichtes vor allem südlich der PV-FFA liegende Flächen (insbesondere, wenn diese auf einem im Vergleich zur PV-FFA erhöhten Standort liegen) betroffen, die bei hohem Sonnenstand durch Reflexe beeinträchtigt werden können. Aufgrund der dann günstigen Ausrichtung der Module zur Sonne (nahezu senkrechter Einfallswinkel) ist die Reflexion jedoch reduziert. Zudem können abends bzw. morgens bei tiefstehender Sonne in den Bereichen westlich und östlich der PV-FFA Reflexionen auftreten, die allerdings durch (die dann ebenfalls in Sichtrichtung tiefstehende) Sonne relativiert werden.



- Bei *nachgeführten* Anlagen ist das Reflexionsverhalten differenzierter zu betrachten, da das Reflexionsverhalten sich bei einachsig und zweiachsig nachgeführten Anlagen aufgrund der verschiedenen Ausrichtung zur Sonne unterscheidet. Grundsätzlich ist bei Nachführungen entlang einer Horizontalachse das Konfliktpotenzial bei tiefstehender Sonne am höchsten, so dass vor allem an Standorten westlich und östlich der Module Reflexionen auftreten können.

Es ist zudem zwischen Reflexionen an streuenden (z.B. strukturierten Glasoberflächen) und nichtstreuenden Bauteilen (z.B. Metallhalterungen) zu unterscheiden. Die Reflexionen an metallenen Bauteilen (z.B. Träger bzw. Halterungen aus verzinktem Stahl oder Aluminium) kann unter Umständen störender sein als die von den Moduloberflächen, da die Metallteile je nach Bauweise in nahezu alle Richtungen reflektieren können und meist auch nur geringfügig das Licht streuen, so dass „Lichtblitze“ entstehen können bzw. die Blendwirkung deutlich weiter reicht. Hier könnten reflexionsarme Farblackierungen der verwendeten Metallteile erheblich zur Reflexvermeidung beitragen.

Zu bedenken ist, dass bei Reflexionen naturgemäß eine „aktive“ Lichtquelle vorhanden sein muss, so dass Störungen während der Dunkelheit (z.B. nächtlicher Vogelzug, nachtaktive Tiere) auszuschließen sind. Durch die nahezu unbewegten Module sind zudem keine Lichtblitze wie bei schnell bewegten Strukturen (z.B. Rotor einer Windenergieanlage) zu erwarten, die als stärker beeinträchtigend einzustufen wären, so dass der Störeffekt für Tiere eher gering ist. Für einen stationären Beobachter (z.B. einen brütenden Vogel) sind aufgrund der Sonnenbewegung nur sehr kurzzeitige „Blendsituationen“ denkbar. Zudem liegen – im Gegensatz zur Blendwirkung durch Starklichtquellen - derzeit keine belastbaren Hinweise auf erhebliche Beeinträchtigungen von Tieren durch kurze Lichtreflexe vor, zumal diese auch in der Natur regelmäßig auftreten (Bsp: Gewässeroberflächen, Pfützen) bzw. in der heutigen Kulturlandschaft nahezu omnipräsent sind.

7.3.3 Wirkfaktor Reflexion: Lichtspektrum und -polarität

Die qualitative Veränderung des reflektierten Lichtes kann theoretisch zu Auswirkungen auf das Orientierungsverhalten von Tieren führen, da die Polarisierungsebene des Lichts von vielen Insektenarten und auch Vögeln wahrgenommen werden kann und z.T. für die Auffindung von Teillebensräumen oder die Orientierung im Raum genutzt wird. Dies gilt auch für das Auffinden von Gewässern durch Wasserinsekten. Auch das Farbspektrum kann hierbei von Bedeutung sein, da die Empfindlichkeit gegenüber den einzelnen Lichtspektren im Tierreich sehr verschieden ist.

Diesbezüglich relevant ist vor allem die mögliche Verwechslung größerer PV-FFA mit Wasserflächen. Bei Ansicht der PV-Module von oben wird i.d.R. der Himmel widergespiegelt, was naturgemäß auch für Dachinstallationen gilt. Hier ist eine Verwechslung mit Wasserflächen möglich, die ein diesbezüglich vergleichbares Spiegelungsverhalten haben (vgl. Abbildung 51, linkes Bild).

Für Wasservögel könnten daraus theoretisch Konfliktsituationen entstehen, etwa durch Landeversuche, die im Extremfall zu Schädigungen der Vögel führen könnten. Dieses Phänomen ist z.B. von regennassen Asphaltstraßen oder Parkplätzen bekannt und es sind einige Fälle von Verletzungen (meist Schürfwunden, z.T. auch tödliche Verletzungen) versehentlich landender Wasservögel dokumentiert [29]. Besonders gefährdet sind offenbar nachziehende und relativ schlecht fliegende Vögel wie z.B. Taucherarten oder Lummenvögel. Irrtümliche Landungen im Bereich der PV-FFA könnten auch ohne landebedingte Verletzungen fatale Folgen haben, da diese Vögel oft nicht vom Erdboden starten können, sondern einen (oft langen) Anlauf auf der Wasseroberfläche benötigen.

Vögel dürften - als sich vorwiegend optisch orientierende Tiere mit gutem Sichtvermögen -, die für Menschen aus der Entfernung wie eine einheitlich erscheinende „Wasserfläche“ wirkende Ansicht der Solarparks schon aus größerer Entfernung in ihre einzelnen Modulbestandteile auflösen können (vgl. Abbildung 51). Im Gegensatz zu großem Parkplätzen oder Straßen, die auch bei Annäherung eine *zusammenhängende* Fläche darstellen (vergleichbar z.B. mit einem kleinen Fließgewässer), ist bei PV-FFA davon auszugehen, dass Vögel mit zunehmender Annäherung an die PV-FFA die einzelnen Modulreihen bzw. Module wahrnehmen und somit keine Landeversuche unternehmen werden. Allerdings ist bei besonders ungünstigen Sichtverhältnissen (z.B. neblige Mondnächte) ein diesbezügliches Risiko derzeit wohl nicht vollständig auszuschließen. Aufgrund der optischen Ähnlichkeit ist dieses Risiko bei Modulen mit horizontaler Ausrichtung (z.B. bei den in nächtlicher „Ruhestellung“ befindlichen nachgeführten *Movern*) vermutlich erhöht.



Abbildung 51: Luftbild von der PV-FFA Geiseltalsee (im Hintergrund der Geiseltalsee)

(Quelle: BPSolar) Rechtes Bild: Ähnlichkeit zwischen See im Hintergrund und PV-FFA; Mittleres und rechtes Bild: Detailausschnitte, auf dem die Einzelmodule zunehmend besser aufgelöst werden und die Verwechslungsgefahr mit Wasserflächen deutlich abnimmt.

Eine Risikobewertung für Wasserinsekten ist derzeit trotz der durchgeführten Untersuchungen noch nicht abschließend möglich. Auch unter Berücksichtigung der methodisch bedingten Prognoseunsicherheiten bei der Interpretation der Fangergebnisse kann nach unserer Auffassung jedoch festgestellt werden, dass zumindest bei den nachgewiesenen aquatischen Arten (5 Wasserkäfer-, 2 Wasserwanzenarten) eine Attraktionswirkung durch PV-Module wahrscheinlich ist. Bei weiteren Arten (-gruppen) scheint eine derartige Attraktionswirkung ebenfalls denkbar und ist in Bezug auf die



vorliegende Fachliteratur zum Orientierungsverhalten von aktiv Gewässer aufsuchenden Fluginsekten auch zu erwarten.

Ein weiterer derzeit nur unzureichend abschätzbarer Aspekt ist die Bewertung der Attraktionswirkung aus naturschutzfachlicher Sicht. Während bei größeren Arten Verletzungen beim Aufprall auf die Module nicht auszuschließen sind, dürften bei der überwiegenden Mehrheit der kleinen Arten direkte Schädigungen auszuschließen sein. Signifikante Beeinträchtigungen von Populationen dieser Arten können, abgesehen von einer direkten Schädigung durch den Anflug, hier nur durch

- allgemeine Energieverluste (im extrem bis zur Erschöpfung mit Todesfolge) oder erhöhtes Prädationsrisiko an den Modulen (z.B. durch Vögel),
- „Leerfangeffekte“ in angrenzenden Biotopen (vergleichbar den Effekten bei Nachtinsekten und Lichtquellen [40])
- Beeinträchtigung des Fortpflanzungserfolges z.B. durch Eiablage auf Moduloberflächen

eintreten.

Die Interpretation und Bewertung wird vor allem auch dadurch erschwert, dass die Größe von Insektenpopulationen (z.B. Wasserkäfer in einem Feuchtgebiet) methodisch nicht zu ermitteln ist und somit auch der mögliche Effekt auf die Population durch die o.g. Beeinträchtigungen allenfalls grob abgeschätzt werden kann.

Daraus folgt, dass diese Fragestellung weiter untersucht werden sollte (vgl. Kap. 10.3.1), um die gefundenen Hinweise zu verifizieren und mögliche naturschutzfachliche Schlussfolgerungen ziehen zu können. Bis hier belastbare Erkenntnisse vorliegen, sollte aus Vorsorgegründen zumindest im Umfeld von bekannten Vorkommen sehr stark bedrohter Wasserinsekten wie z.B. dem Breitrand *Dytiscus latissimus* oder *Graphoderus bilineatus* (Arten des Anhang II der FFH-RL¹²) auf die Planung von PV-FFA verzichtet werden (vgl. Kap. 0). Ein fachliche Ableitung von Mindestabständen ist derzeit jedoch nicht möglich.

Neben den Polarisierungsebenen des Lichtes ist auch das Spektrum (Wellenlängenbereich) des Lichtes von Bedeutung. Glasflächen absorbieren z.B. Teile des UV-Lichtanteils des Sonnenlichts und auch die Solarmodule absorbieren naturgemäß große Teile des Lichtspektrums. Hierdurch heben sie sich in der Farbe in der Regel deutlich von ihrer Umgebung ab, da das reflektierte Licht andere Wellenlängen umfasst. Durch die Absorption und auch die Erwärmung (infrarote Wärmestrahlung) verschiebt sich das Spektralverhalten des reflektierten Lichtes, wodurch deutliche Unterschiede zwischen (kühlen) Gewässern und erwärmten Modulen v.a. im IR-Bereich anzunehmen sind. Inwieweit diese Unterschiede von Tieren erkannt und vor allem auch interpretiert werden können, kann derzeit nicht abschließend beantwortet werden.

¹² Angaben zur Biologie und zur aktuellen Verbreitung dieser Arten finden sich z.B. unter www.wasserkaefer.de

Bekannt ist jedoch, dass die meisten Vögel im Gegensatz zum Menschen insbesondere die UV-Anteile des Lichts sehr gut wahrnehmen können [17] und somit sehpysiologische Aspekte bei der Wahrnehmung der PV-FFA durch verschiedene Tiergruppen von Bedeutung sein können.

7.3.4 Wirkfaktor Spiegelung

Ein Konfliktpotenzial ist hierbei durch die erschwerte Wahrnehmbarkeit der Module z.B. für Vögel gegeben: spiegelnde Oberflächen reflektieren Umgebungsbilder; die widergespiegelten Habitatstrukturen können dem Vogel dann einen Lebensraum vortäuschen und zum Anflug verleiten. Aktuelle Untersuchungen (z.B. [17]) und Literaturlauswertungen z.B. der SCHWEIZER VOGELWARTE SEMPACH zeigen, dass durch spiegelnde Glasfassaden im Siedlungsbereich hohe Zahlen an Kleinvögeln zu Tode kommen. Ein großes Risiko besteht v.a. an senkrechten Spiegelglasfronten (z.B. Spiegelglasfassaden), in denen sich Habitatstrukturen wie Gehölze widerspiegeln (vgl. Abbildung 12).

Bei den *Wafer*-Modulen ist aufgrund der Farbgebung und der Oberflächenstruktur nur ein sehr geringes Spiegelungsvermögen gegeben. Dünnschichtmodule können durch die dunkle Grundfärbung und die in der Regel glatten Glasoberflächen dagegen bei bestimmten Lichtverhältnissen ein starkes Spiegelungsverhalten aufweisen.

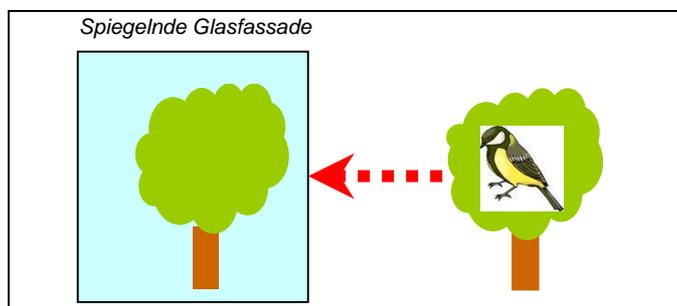


Abbildung 52: Kollisionsrisiko für Vögel an Spiegelglasfronten

Risiko des Anflugs an vermeintliche (gespiegelte) Habitatstrukturen und Kollision an der Glasscheibe

Durch die Ausrichtung der PV-Module zur Sonne (i. d. R. rd. 30°) sind jedoch Widerspiegelungen von Habitatelementen, die Vögel zum horizontalen Anflug motivieren, kaum möglich. Das diesbezügliche Risiko ist daher sehr gering. Zudem ist durch die in der Regel zu Gruppen angeordneten Einzelmodule (und deren Rahmen) eine Partionierung der Flächen und damit erhöhte Erkennbarkeit gegeben, die ebenfalls das Anflugrisiko senkt. Ein erhöhtes Mortalitätsrisiko für Vögel ist somit nicht anzunehmen.

Ein weiterer Aspekt ist das Phänomen der sog. „Spiegelfechter“: Bei einigen territorialen Vogelarten wie Buchfink, Bachstelze oder Elster ist z.B. bekannt, dass diese ihre vermeintlichen „Widersacher“ im Spiegelbild z.B. einer Fensterscheibe über längere Zeiträume hartnäckig attackieren können – natürlich erfolglos [58]. Dies hat in der Regel jedoch keine nachhaltigen Folgen für die betroffenen Individuen.



7.4 Auswirkungen durch sonstige nichtstoffliche Emissionen

7.4.1 Auswirkungen durch Schallemissionen

Die Emissionen durch anlagebedingten (z.B. Anströmgeräusche durch Wind) und betriebsbedingten Schall (v.a. Trafos) sind auf den Nahbereich beschränkt und werden z.B. bei den Trafostationen in der Regel durch Gebäude stark gedämmt. Baubedingt sind Meidereaktionen durch z.B. Säuger oder Vögel zu erwarten, die jedoch ebenfalls nur den Nahbereich betreffen und meist von weiteren Störreizen (z.B. bewegte Silhouetten, Maschineneinsatz) überlagert werden. Dauerlärm, der zu einer nachhaltigen Entwertung von Lebensräumen z.B. durch Maskierung von Informationen (Reviergesang, Kontaktrufe von Vögeln, vgl. [54]) führen kann, ist hier nicht zu erwarten.

Anlagen- und betriebsbedingte Beeinträchtigungen durch Lärm sind somit bei den derzeitigen Standards von PV-FFA für den Arten- und Biotopschutz nachrangig.

7.4.2 Auswirkungen durch elektrische oder magnetische Felder

Diese ausschließlich betriebsbedingt auftretenden Beeinträchtigungen (Maximalwerte werden nur bei Vollast erreicht) sind aufgrund der geringen Größenordnungen bei den derzeitigen Standards von PV-FFA für den Arten- und Biotopschutz unbedeutend.



8 Wirkungsprognosen für das Landschaftsbild

In der Landschaft sichtbare PV-Freiflächenanlagen führen zu einer Veränderung des Landschaftsbildes. Da es sich bei den Anlagen um landschaftsfremde Objekte handelt, ist regelmäßig von einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes auszugehen, auch wenn Einzelne den Anblick eines Solarparks aufgrund persönlicher Einstellungen auch als positiv empfinden mögen.

Als Ergebnis der Praxisuntersuchungen ist festzustellen, dass vor allem die folgenden Faktoren zur Wirksamkeit von Solarparks im Landschaftsbild beitragen:

- Erkennbarkeit von auffälligen Einzelobjekten,
- Sichtbarkeit einzelner Anlagenteile,
- Größe der Anlage im Blickfeld,
- Lage zur Horizontlinie,
- teilweise Sichtverschattungen,
- Vorbelastungen durch andere anthropogene Landschaftselemente.

Diese Aspekte sind bei der Ermittlung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild daher besonders zu berücksichtigen. Für einen gegebenen Beobachtungspunkt kann zunächst anhand des Erscheinungsbilds des Solarparks dessen Dominanz bestimmt werden. Die Reichweite der unterschiedlichen Dominanzzonen ist dabei stark von den konstruktiven Merkmalen der Module, den landschaftlichen Gegebenheiten sowie der Lage des Beobachtungspunktes zur Anlage (Himmelsrichtung, Höhenunterschied) abhängig. Insgesamt konnten im Rahmen der Praxisuntersuchungen Sichträume mit bis zu 3000 m Ausdehnung festgestellt werden.

Zusammen mit der Empfindlichkeit des Landschaftsbildes, die im wesentlichen von den vorhandenen anthropogenen Vorbelastungen mit ähnlichem Erscheinungsbild wie der Solarpark bestimmt wird, ergibt sich dann das Ausmaß der Auswirkungen auf das Landschaftsbild (vgl. Abbildung 53).

Die einzelnen Kriterien zur Bestimmung der Wirkintensität werden im Folgenden diskutiert.

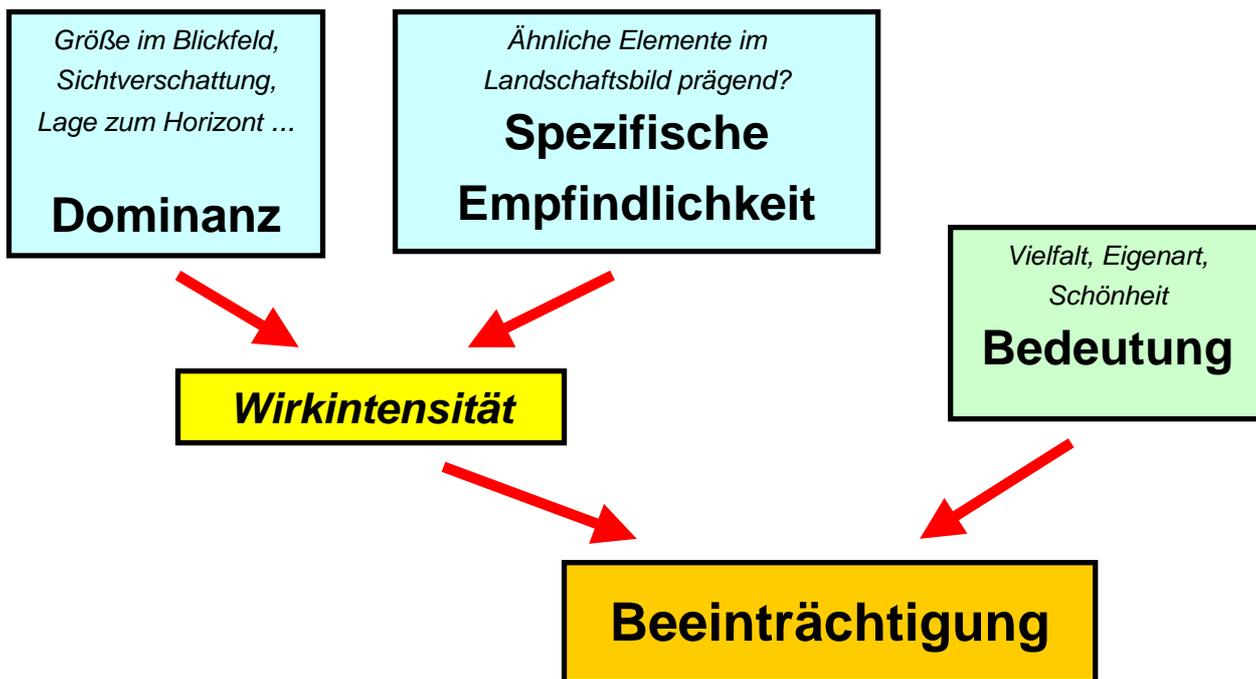


Abbildung 53: Ermittlung der Beeinträchtigung des Landschaftsbilds (Ablaufschema)

8.1 Erkennbarkeit von auffälligen Einzelobjekten und Anlagenteilen

Im Nahbereich sind einzelne Objekte des Solarparks erkennbar und ziehen dadurch die Aufmerksamkeit des Betrachters auf sich. Die Erkennbarkeit von Einzelobjekten hängt stark von der Größe der Einzelkollektoren ab. So sind einzelne „Mover“ aufgrund ihrer Größe auch aus größeren Abständen noch gut auflösbar und können dann erheblich auffälliger sein als z.B. ein Solarpark mit fest installierten Modulreihen geringerer Höhe, die aus einem größeren Abstand bereits als Fläche erscheint.

Je nach Beobachtungspunkt können verschiedene Anlagenteile sichtbar sein:

- **Moduloberflächen**
Wenn vom Beobachtungspunkt die Moduloberfläche sichtbar ist (bei schwenkbaren Modulen zumindest zeitweise), erscheint die Anlage mit einer höheren Helligkeit und abweichenden Farbe im Landschaftsbild. Dabei ist die Auffälligkeit stark vom Betrachtungswinkel zur Moduloberfläche abhängig. Bei seitlicher Ansicht ist die Auffälligkeit durch reflektiertes Licht stark reduziert.
- **Reflektierende Tragekonstruktionen**
Reflektierende Tragekonstruktionen sind ebenso auffällig wie die Moduloberflächen. Der Anteil am Blickfeld ist gegenüber demjenigen der Module zwar von den meisten Beobachtungspunkten aus geringer, da die Rückseiten der Module die dahinter stehenden Konstruktionen verdecken. Eine besondere Auffälligkeit kann sich aber zumindest vorübergehend bei bestimmten Sonnenständen ergeben, wenn es zu einer direkten Reflexion der Sonnenstrahlung kommt.



- Nicht reflektierende Tragekonstruktion

Nicht reflektierende Tragekonstruktionen (z.B. Holz, Metalle mit nicht reflektierenden, dunklen Anstrichen) haben in der Regel nur eine geringe Auffälligkeit. Sie können in einer sehr naturnahen Landschaft dennoch als Fremdkörper im Landschaftsbild zu Beeinträchtigungen führen. Bei dem Vorhandensein von Vorbelastungen (insbesondere andere bzw. größere anthropogene Vertikal- und Horizontalstrukturen) wird die Erheblichkeit regelmäßig als gering einzustufen sein.

Auf unbeweglichen Konstruktionen installierte Solarparks weisen vor allem bei Beobachtungspunkten in südlicher Richtung eine große Wirkintensität auf, da von hier aus die Moduloberflächen und die Tragekonstruktionen sichtbar sind und der größte Teil des reflektierten Lichts in diese Richtung abgestrahlt wird. Von der Seite ist die Auffälligkeit stark herabgesetzt, von Norden sind Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds oft nicht mehr feststellbar. Bewegliche Module können dagegen – abhängig vom Konstruktionstyp - in alle Richtungen starke Wirkungen entfalten, wobei die maximale Wirksamkeit nur zu bestimmten Tageszeiten auftritt.

8.2 Anteil der Anlage im Blickfeld

Der Anteil der Anlage im Blickfeld ist durch die relative horizontale und vertikale Ausdehnung der Anlage im Blickfeld quantifizierbar. Ausschlaggebend für die wahrgenommene Größe der Anlage ist der maximal erkennbare Umriss der Anlage, unabhängig von darüber hinaus ggf. vorhandenen geringfügigen Sichtverschattungen einzelner Abschnitte (etwa durch Einzelbäume). Dabei ist in der Regel die Ausdehnung in horizontaler Ausdehnung erheblich größer als diejenige in vertikaler Richtung. Eine nennenswerte vertikale Ausdehnung führt aber zu einer flächigen Ansicht der Anlage, während eine Anlage mit einer geringen vertikalen Ausdehnung eher als lineares Element wahrgenommen wird. Flächig sichtbare Anlagen sind wesentlich auffälliger als nur linear sichtbare Anlagen. Die vertikale Ausdehnung hat entsprechend einen wichtigen Einfluss auf das Ausmaß der Landschaftsbildveränderung.

8.3 Einfluss teilweiser Sichtverschattungen

Durch Sichtverschattungen von Anlagenteilen wird das Ausmaß der verursachten Landschaftsbildveränderung vermindert. Solche Sichtverschattungen treten z.B. bei besonders hohen Einzelmodulen, einer unvollständigen Abpflanzung oder bei Vorhandensein einzelner höherer Landschaftselemente (z.B. Einzelbäume, kleine Gehölzgruppen, Einzelgebäude) im Bildvordergrund auf. Es können folgende Fälle unterschieden werden:

- Anlage nicht sichtverschattet
- Anlage überwiegend nicht sichtverschattet
- Anlage überwiegend sichtverschattet



Die Wirkung teilweiser Sichtverschattungen kann z.B. gut bei den Standorten Mühlhausen (Beobachtungspunkt 5) oder Erlasee (Beobachtungspunkt 4) beobachtet werden.

8.4 Lage zur Horizontlinie

Objekte in der Horizontlinie besitzen eine größere Auffälligkeit, da diese Linie bei der Wahrnehmung des Landschaftsbilds einen wichtigen Orientierungspunkt darstellt. Erscheinen die Module in der Horizontlinie, so ist daher von einer höheren Wirkintensität auszugehen. Besonders hoch ist die Auffälligkeit von Anlagen, wenn es durch die Höhe der Module zu einer Horizontüberhöhung, also einer deutlich veränderten Kontur der Horizontlinie kommt.

8.5 Intensität der Überprägung des Landschaftsbildes durch PV-FFA

Die Veränderung des Landschaftsbildes durch PV-Anlagen ist umso intensiver, je weniger der PV-Anlage hinsichtlich Kontur, Struktur, Helligkeit oder Farbe ähnliche Landschaftsbildelemente vorhanden sind, da die Anlage dann eine neue Qualität der Landschaftsbildverfremdung bedeutet. Solche Objekte können z.B. Industriehallen (-dächer), Gewächshäuser, Verkehrsflächen oder Gewässer darstellen. Wenn solche Objekte ohnehin für das Landschaftsbild prägend sind, sind die Beeinträchtigungen für das Landschaftsbild weniger schwerwiegend. Diese Abmilderungseffekte treten naturgemäß nur in Bereichen ein, in denen die Anlage als solche keine dominante Wirkung entfaltet. Von den untersuchten PV-Anlagen sind diese Effekte v.a. bei der Anlage Mühlhausen gut zu beobachten. Hier waren das Staugewässer (Wasserspeicher) sowie mehrere Hallendächer von ähnlicher Erscheinung wie die PV-Anlage.

9 Empfehlungen für die Planungspraxis

9.1 Arbeitsschritte zur Ermittlung und Bewertung erheblicher Auswirkungen

9.1.1 Schutzgutbezogene Untersuchungen im Vorfeld der Planung

Um eine Standortentscheidung treffen zu können, sollten im Vorfeld gezielte Aussagen zur Qualität bestimmter Schutzgutausprägungen der potenziellen Standorte einer geplanten PV-FFA erbracht werden. Diese Aussagen können durch gezielte Untersuchungen (z.B. Biotoperfassungen) oder auch durch Recherchen bei den Fachbehörden oder Gebietskennern erhalten werden. Die Untersuchungen sind eng an die im Projektgebiet zu erwartenden Arten und Lebensräume und deren spezifische Empfindlichkeiten gegenüber den von PV-FFA ausgehenden Wirkfaktoren (vgl. Kap. 7, S. 115 ff.) abzustellen.

Bereits bei der Standortwahl können genauere Untersuchungen zum Landschaftsbild hilfreiche Entscheidungskriterien liefern, etwa bei einem diesbezüglichen hohen Konfliktpotenzial (z.B. im Umfeld von Naturparks oder Landschaftsschutzgebieten). Dies kann z.B. mittels Raumanalysen (u.a. Sichtbeziehungsanalyse) oder Fotosimulationen geschehen.

Aufgrund der Verschiedenheit der betroffenen Arten und Biotope wird im Folgenden eine Unterscheidung zwischen den im EEG festgelegten möglichen PV-FFA-Standorten vorgenommen. Vereinfachend wird hier jedoch nur zwischen weitgehend versiegelten und unversiegelten Flächen unterschieden. Letztere umfassen Standorte auf Ackerflächen sowie eine Vielzahl von Konversionsflächen (z.B. militärische Übungsplätze). Die dargestellten Methoden können nur einen ersten allgemeinen Überblick geben und sind daher den spezifischen Rahmenbedingungen der jeweiligen Planung anzupassen.

Hinweise für geeignete Voruntersuchungen bei weitgehend unversiegelten Flächen (Acker- oder viele Konversionsflächen)

Ackerflächen und viele Konversionsflächen sind weitgehend unversiegelte Landschaftsbereiche, die dennoch einer meist intensiven anthropogenen Nutzung unterliegen. Konversionsflächen umfassen ein weites Spektrum an Habitatstrukturen verschiedenster Wertigkeit, aber auch Ackerflächen sind hinsichtlich ihres Wertes für den Arten- und Biotopschutz nicht einheitlich zu bewerten. Hervorzuheben sind hier z.B. Kalkscherbenäcker, Terrassenäcker oder Ackerflächen mit einer großen Zahl von Sonderbiotopen (z.B. Porphyrkuppen, Sölle).



Tabelle 21: Hinweise für Voruntersuchungen auf Ackerstandorten oder Konversionsflächen

Schutzgut / Akzeptor	Fragestellung	Methode	Beschränkung
Brutvögel	Nutzen bedeutende Brutvogel-vorkommen des Offenlandes (z.B. Wiesenweihe, Wachtel, Wiesenvögel) das Plangebiet oder dessen nähere Umgebung regelmäßig? Sind ausreichend geeignete Ausweichflächen in der Nachbarschaft vorhanden ?	Recherche, ggf. Erfassung der relevanten Arten mittels Standardkartierverfahren ([64]) im Projektgebiet und dessen Umfeld.	<i>nur in Regionen mit entsprechenden Verdachtsflächen auf diese Arten</i>
Rastvögel	Nutzen bedeutende Rastvogel-vorkommen (z.B. nordische Gänse, Kraniche) das Gebiet regelmäßig ? Sind ausreichend geeignete Ausweichflächen in der Nachbarschaft vorhanden ?	Erfassung der Rastvogelbestände in mindestens 14-tägigen Intervallen im Zeitraum Ende August bis Anfang Mai vor Baubeginn (Projektgebiet und Umgebung)	<i>nur in Regionen mit regelmäßigen Vorkommen bedeutender Rastvogelansammlungen auf Offenlandflächen</i>
Säugetiere	Sind (potenzielle) Lebensräume von Feldhamstern oder weiteren extrem seltenen Säugern betroffen? Werden traditionelle Wildwechsel oder Wanderkorridore von Arten mit großem Raumbedarf (z.B. Luchs) zerschnitten?	Erfassung bzw. Recherche der Vorkommen der Arten (z.B. Kartierung der Hamsterbaue) z.B. Befragung der Jagdausübungsberechtigten, Spurensuche, Potenzialanalyse anhand von Karten	<i>nur in Gebieten mit Hamstervorkommen</i> <i>nur bei großräumiger Einzäunung</i>
Wirbellose	Sind in der Nachbarschaft besonders schützenswerte Vorkommen von Wasserinsekten vorhanden? Werden Lebensräume schutzwürdiger Vorkommen wärmeliebender Tierarten (z.B. Trockenrasenarten, seltene Artengemeinschaften von Extensiväckern) betroffen?	Erfassung der Wasserinsekten in den benachbarten Gewässerbiotopen mittels Standardmethoden (z.B. Kescher- oder Lichtfang) Biotoptypenerfassung und Strukturkartierung, Erfassung ausgewählter Indikatorarten mittels Standardmethoden, ggf. Raumanalyse (z.B. Flächenbilanzierungen etc.)	<i>nur bei bekannten Vorkommen bzw. nahe von Schutzgebieten für diese Arten und bei Vorhandensein potenziell wertvoller Gewässer im Umfeld</i> <i>nur auf (halb-)offenen Trockenbiotopen bzw. entsprechenden extensiven Ackerstandorten</i>
Pflanzen	Sind Pflanzengesellschaften trocken-warmer Standorte (z.B. Trockenrasen) oder gefährdete Ackerwildkrautfluren durch das Vorhaben betroffen? Sind ggf. ausreichend geeignete Flächen außerhalb des durch Module beschatteten Bereichs vorhanden oder herstellbar?	Erfassung von Flora und Pflanzengesellschaften im Plangebiet oder auf repräsentativen Probestellen Raumanalyse (z.B. mittels Luftbild, Flächenbilanzierung)	<i>nur in Regionen mit entsprechenden Verdachtsflächen auf diese Arten oder Lebensräume</i>
Sonderbiotope/ Kleinstrukturen	Sind aus fachlicher Sicht wertvolle Sonderbiotope (z.B. Hohlwege, Sölle) oder andere Kleinstrukturen (z.B. Böschungen) vorhanden ?	Auswertung vorliegender Daten (z.B. LP), ggf. Kleinstrukturkartierung	<i>nur in Gebieten mit entsprechenden Verdachtsflächen auf diese Sonderbiotope</i>



Hinweise für geeignete Voruntersuchungen auf versiegelten Flächen

Versiegelte Flächen sind in aller Regel aus Sicht des Arten- und Biotopschutzes von nachrangiger Bedeutung, so dass Voruntersuchungen auf wenige Aspekte beschränkt werden können (vgl. Tabelle 22).

Tabelle 22: Hinweise für Voruntersuchungen auf versiegelten Flächen

Schutzgut / Akzeptor	Fragestellung	Methode	Beschränkung
Tierwelt	Liegen Hinweise auf Vorkommen seltener oder gefährdeter Tierarten vor, z.B. Fledermäuse in Gebäuden?	z.B. Übersichtsbegehung, Datenrecherche, ggf. gezielte Erfassungen mittels Standardmethoden	<i>nur bei begründeten Verdachtsfällen und Verlust/Beeinträchtigung der jeweiligen Habitate bzw. -strukturen</i>
Pflanzenwelt	Liegen Hinweise auf seltene oder gefährdete Pflanzenarten vor, z.B. epilithische Flechten oder Moose?	z.B. Übersichtsbegehung, Datenrecherche, ggf. gezielte Erfassungen	<i>nur bei begründeten Verdachtsfällen und Verlust/Beeinträchtigung der jeweiligen Habitate bzw. -strukturen</i>

9.1.2 Hinweise zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen

Standortwahl

Zur Vermeidung von erheblichen Beeinträchtigungen des Naturhaushalts ist vor allem die Auswahl eines geeigneten Standortes der PV-FFA von Bedeutung.

Bei der Standortentscheidung sollten neben den wirtschaftlichen Erwägungen auch raumordnerische und naturschutzfachliche Aspekte abgewogen werden. Von Seiten der Länder gibt es bisher jedoch noch keine bzw. allenfalls erste Ansätze einer raumplanerischen Steuerung. Im Rahmen dieses Vorhabens stehen jedoch die naturschutzfachlichen Aspekte im Vordergrund. Hinsichtlich der möglichen Steuerung z.B. durch Instrumente der Raumordnung wird auf das parallel laufende F+E-Vorhaben des BMU [6] verwiesen.

Die Standortwahl ist fachlich zu begründen und es sind nach Möglichkeit auch Alternativen darzustellen und zu prüfen. Bedeutende Vorkommen von Arten oder Lebensräumen, die gegenüber den spezifischen Wirkfaktoren von PV-FFA als besonders empfindlich einzustufen sind, sind bei der Standortentscheidung entsprechend zu gewichten. Die derzeit vorherrschende Planungspraxis weist vor allem diesbezüglich deutliche Mängel auf, da in der Regel keine Prüfung von ggf. besser geeigneten Standortalternativen erfolgt.

Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen für Arten und Biotope

Die folgenden Vermeidungsmaßnahmen sind nach den in Kap. 3 genannten Wirkfaktoren gegliedert. Die Aufzählung ist nicht vollständig.



Tabelle 23: Maßnahmen zur Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen für Arten und Biotope

Wirkfaktor / -komplex	Vermeidungsmaßnahme (Auswahl)
Flächeninanspruchnahme, Veränderung abiotischer Standortfaktoren: - Versiegelung - Bodenumlagerung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Berücksichtigung der Belange des Arten- und Biotopschutzes bei der Standortwahl, ▪ grundsätzlich Wahl eines möglichst flächensparenden Layouts (Modulstellflächen), aber: ▪ Aussparung von bzw. Abstandshaltung zu wertvollen Biotopstrukturen (z.B. Ackerterrassen, Hohlwege, Kleingewässer, feuchte Senken, Böschungen)
- Fundamentgründung, - Baustellenverkehr	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minimierung der Fundamentflächen (z.B. durch Verwendung von Erddübeln etc.), ▪ Minimierung der Erdarbeiten bei der Kabelverlegung (z.B. Prüfung, ob oberflächliche Kabelführung möglich) ▪ Wahl störungsarmer Bauzeitfenster (z.B. außerhalb der Brut- und Setzzeit) ▪ Verwendung von Baufahrzeugen mit geringem Bodendruck, ggf. Aufgrübbbern der Baustraßen nach Abschluss der Arbeit ▪ Verzicht auf Befestigung der Wege ▪ Verzicht auf Einbringen von Fremdsubstraten (z.B. für Baustraßen, Bodenabdeckung); wenn dies unverzichtbar ist, dann unbelastete, nährstoffarme, standortgerechte Substrate verwenden
- Beweidung/Mahd	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zulassen von natürlicher Sukzession zumindest auf Teilflächen ▪ Festsetzung einer extensiven <i>Grünland</i>nutzung ▪ Festsetzung eines an naturschutzfachlichen Aspekten orientierten Nutzungs- bzw. Pflegeregimes (z.B. extensive Beweidung oder Mahd), kein Einsatz von Dünger bzw. Pestiziden
- Überschilderung des Bodens durch die Module	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freihaltung von Lücken zwischen den Modulen für dezentralen Wasserablauf, ggf. auch zur Erhöhung des Lichteinfalls unter den Modulen ▪ in Hanglagen ggf. Auffangen von Wasser an Abtropfkanten mit Rigolen, Kiesbetten, Vegetation ▪ Schutz empfindlicher Biotope vor Einträgen durch Wassererosion ▪ Abstand der Module zum Boden > 0,8 m für ausreichenden Streulichteinfall ▪ Freihaltung besonders hochwertiger Bereiche (z.B. Trockenrasenfluren guter Ausprägung)
- Schattenwurf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Freihaltung besonders hochwertiger Bereiche (z.B. Trockenrasenfluren guter Ausprägung) von Totalverschattung
Barrieren (Abzäunung etc.)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ möglichst Bevorzugung anderer Schutzmaßnahmen wie z.B. Verwallungen, Gräben, technische Alarmeinrichtungen, <i>wenn Zäunung unvermeidbar</i> ▪ Verwendung von für Wildtiere ungefährlichen und optisch unauffälligen Materialien ▪ Schaffung von Durchlässen für Mittelsäuger in Bodennähe



Wirkfaktor / -komplex	Vermeidungsmaßnahme (Auswahl)
Barrieren (Abzäunung etc.)	<ul style="list-style-type: none">▪ bei sehr großen Gebieten: Freihaltung von ungezäunten Korridoren/Durchlässe▪ weitgehender Verzicht auf den (nächtlichen) Einsatz von Wachhunden oder Personal
Stoffliche Emissionen	<ul style="list-style-type: none">▪ Verzicht auf den Einsatz von Reinigungsmitteln▪ Verwendung von Baustoffen mit geringem Schadstoffgehalt bzw. –austrag (z.B. unbehandeltes Holz)▪ Minimierung von Schadstoffimmissionen während der Bauzeit
Visuelle Wahrnehmbarkeit, optische Emissionen	<ul style="list-style-type: none">▪ Abpflanzung des Betriebsgeländes und ggf. der Betriebsgebäude mit Hecken o.ä.▪ Wahl von Standorten mit geringer Sichtbarkeit (keine exponierte Hanglagen)▪ Verwendung reflexarmer Materialien (z.B. lackierte Metallgestänge, reflexarme Glasoberflächen)▪ Optimierung der Reflexionseigenschaften in Bezug auf mögliche Störungen von Tieren (z.B. Polarisatiosebene des reflektierten Lichtes)▪ Verwendung visuell unauffälliger Zäune (z.B. grüne Farbe)▪ Verzicht auf künstliche Lichtquellen
Akustische Emissionen	<ul style="list-style-type: none">▪ Verwendung lärmarmen Transformatoren▪ Wahl störungsarmer Bauzeitfenster (z.B. außerhalb der Brut- und Setzzeit)
Elektrische oder magnetische Emissionen	<ul style="list-style-type: none">▪ elektromagnetische Abschirmung der Wechselrichter

Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes

Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch PV-Freiflächenanlagen lassen sich durch folgende Maßnahmen in der Regel weitgehend vermeiden (vgl. auch [38]):

Begrenzung des Sichtraums durch Abpflanzung¹³

Zur Vermeidung von Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes sollten PV-Freiflächenanlagen – abhängig von dem betroffenen Landschaftstyp – mit landschaftsgerecht gestalteten, auch im Winter weitgehend sichtverschattenden Gehölzpflanzungen umgeben werden. Hierfür ist z.B. ein 10 m breiter Gehölzstreifen mit einer Mischung aus Bäumen und Sträuchern geeignet. Die erforderliche Höhe der Abpflanzung ist von der Höhe der Module sowie von der Lage im Relief abhängig. Sinnvoll erscheint auch die Anlage der Bepflanzung auf Wällen, da diese auch im Nahbereich eine wirksame Sichtverschattung gewährleisten.

¹³ Eine Abpflanzung der Anlage ist im Sinne der Eingriffsregelung als Ausgleich von Beeinträchtigungen durch eine landschaftsgerechte Neugestaltung auffassen.



Eine Abpflanzung von PV-FFA sollte auch in ebenen, gehölzarmen Landschaftsräumen wie etwa den Marschen erfolgen, da die frei sichtbare Module zu schwerwiegenden Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds führen als eine - gegebenenfalls landschaftsuntypische - Gehölzpflanzung. Unter Umständen ist in einigen Landschaftsräumen eine Höhenbegrenzung der Pflanzungen sinnvoll, z.B. bei Vorkommen von typischen Offenlandvögeln in angrenzenden Flächen (Vermeidung zusätzlicher Silhouettenwirkungen durch z.B. Baumreihen).

Begrenzung des Sichtraums durch Standortwahl

Die Reichweite des Sichtraums ist stark vom Relief und von der Lage der Anlage im Relief abhängig. Bei Beachtung nachfolgender Hinweise zur Standortwahl von PV-FFA können negative Auswirkungen auf das Landschaftsbild deutlich reduziert werden:

- Lage in der Ebene oder auf Kuppen: Auswirkungen auf das Landschaftsbild sind durch eine geeignete Abpflanzung vollständig vermeidbar, sofern nicht deutliche höhere Erhebungen im Umfeld vorhanden sind. Bei fehlender Abpflanzung ist jedoch ein besonders weiter Sichtraum gegeben
- Lage in Talräumen: Der Sichtraum ist auch bei fehlender Abpflanzung auf die Größe des Talraums beschränkt, da die nächstgelegenen Höhenzüge den Sichtraum in der Regel begrenzen
- Hanglagen: Anlagen im oberen Hangbereich lassen sich nur schwer sichtverschatten und können bei einem entsprechenden Relief deutlich größere Sichträume aufweisen als Anlagen in Tallagen. Die Anlage von PV-Anlagen in Hangbereichen sollte daher vermieden werden.

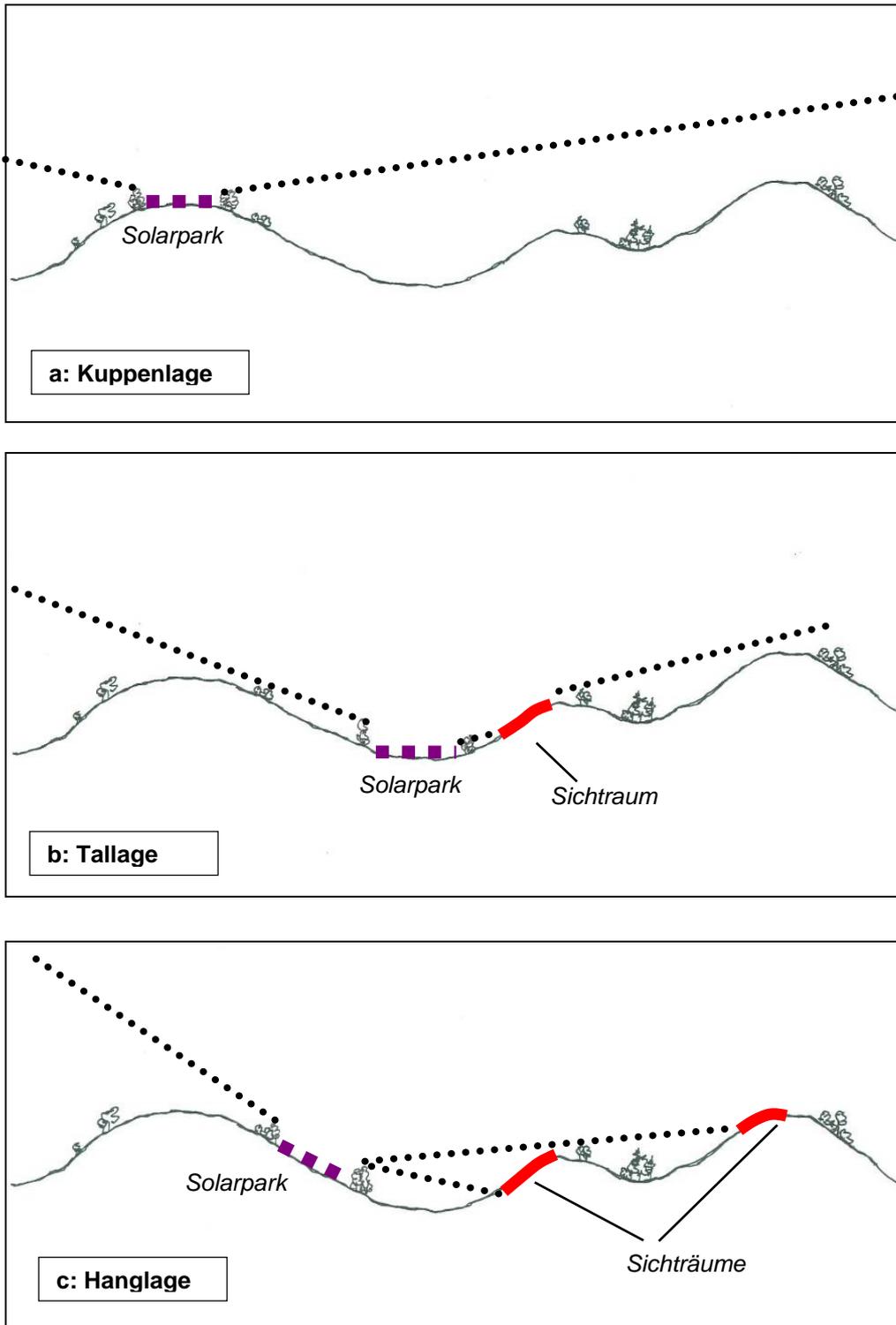


Abbildung 54: Auswirkungen von Relief und Sichtverschattungen auf den Sichtraum (Schema)

a: Kuppenlage: Bei geeigneten Abpflanzungen ist die Anlage vollständig sichtverschattet

b: Tallage: je nach Höhe der Sichtverschattung und Ausprägung des Reliefs Sichtbeziehungen im Hangbereich der nächstgelegenen Höhenzüge möglich

c: Hanglage: Sichtbeziehungen je nach Ausprägung des Reliefs über mehrere Höhenzüge möglich, vollständige Sichtverschattung durch Abpflanzung nicht möglich



Erhaltung von sichtverschattenden Objekten

Vorhandene sichtverschattende Objekte, insbesondere Gehölze, sollten zur Vermeidung der Auswirkungen auf das Landschaftsbild unbedingt erhalten werden. Nach Möglichkeit ist auch eine Verdichtung der Pflanzung zu prüfen.

Konstruktive Maßnahmen

Die visuellen Wirkungen von Anlagen mit einer großen Höhe der Einzelkollektoren sind nur durch entsprechend hohe Sichtschutzpflanzungen abzuschirmen und weisen von daher in der Regel stärkere Auswirkungen auf das Landschaftsbild auf. Zudem kommt es bei solchen Anlagen eher zu einer Silhouettenwirkung durch Horizontüberhöhungen.

Weitere konstruktive Maßnahmen umfassen v.a. die Verwendung nicht reflektierender Tragekonstruktionen, da durch Lichtreflexion an diesen Anlagenteilen u. U. signifikante Störwirkungen ausgehen können. Dieser Effekt wurde z.B. bei dem Solarpark Mühlhausen beobachtet.

Inanspruchnahme landschaftsästhetisch vorbelasteter Landschaften

Bei einer Inanspruchnahme landschaftsästhetisch durch Bebauungen oder andere technische Objekte wie Verkehrswege, Baggerseen etc. bereits erheblich verfremdeter Landschaften sind die Auswirkungen selbst bei einer deutlichen Sichtbarkeit der Anlage gering. Dies gilt insbesondere auch für PV-FFA in Ortslage oder unmittelbarer Ortsrandlage sowie innerhalb von Gewerbegebieten, aber auch z.B. für Anlagen parallel zu Kanälen oder Straßen. Hier ist gegebenenfalls eine frühzeitige Abwägung von naturschutzfachlichen Belangen mit anderen Belangen (Auswirkungen auf die Wohnqualität oder die Naherholung in siedlungsnahen Räumen) erforderlich.

9.1.3 Hinweise zur Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen

Vorbemerkung

Die Kompensation sollte auf die erheblich beeinträchtigten Werte und Funktionen des Naturhaushaltes fokussiert werden. Aus diesem Grund ist eine fachliche Herleitung der Beeinträchtigung im Sinne einer Wirkungsprognose unerlässlich (vgl. Kap. 4.1.3).

Die Vielzahl der vorhandenen Ansätze der Bewertung von Eingriffen in den Naturhaushalt können hier nicht alle wiedergegeben werden. Neben auf verbal-argumentativen Ansätzen basierende Bewertungsverfahren liegen viele „numerische“ (z.B. auf Wertgleichungsverfahren) basierende Verfahren vor. Eine kritische Auseinandersetzung mit den verschiedenen Ansätzen findet sich u.a. in [53].

Um den Aufwand für die Bestandserfassung von Natur und Landschaft, für die Vorhabensbeschreibung und für die Wirkungsprognose zu vermindern, werden in der Praxis der Eingriffsregelung häufig sogenannte „Wertgleichungsverfahren“ eingesetzt. Dabei wird den von einem Eingriff betroffenen Flächen zunächst nach einem standardisierten Verfahren – häufig auf der Grundlage einer Biotoptypenkartierung – ein Wert (z.B. „Wertpunkte pro



Hektar“) zugeordnet. Dieser Wert wird dann mit – ebenfalls standardisierten - Wirkzonen des Eingriffs überlagert, in denen von einer prozentualen Beeinträchtigung der betroffenen Einheiten ausgegangen wird. Aus der Überlagerung ergibt sich ein abstraktes Maß für den Wertverlust der jeweiligen Flächen. Über die insgesamt betroffenen Flächen kann so ein Wert für den „Gesamtverlust“ aufsummiert werden.

Dem Vorteil der Verfahrenserleichterung stehen jedoch oft erhebliche Mängel gegenüber. Mit Wertgleichungsverfahren wird ausschließlich ein durch einen Eingriff verursachter Wertverlust ermittelt. Es erfolgen i.d.R. keine Angaben zu den tatsächlichen Veränderungen auf der Sachebene und keine Differenzierung der betroffenen Werte und Funktionen. Auswirkungen, die nur einzelne Elemente innerhalb dieser Raumeinheiten betreffen, können nicht für sich ermittelt werden (z.B. Störung von empfindlichen Tierarten durch Silhouetteneffekte). Je nach Ausstattung der Flächen können die gleichen Wirkfaktoren jedoch zu sehr unterschiedlichen Auswirkungen führen. Nur wenn z.B. tatsächlich empfindliche Arten vorhanden sind, können auch erhebliche Beeinträchtigungen durch Silhouetten auftreten. In der Praxis kann dieses Verfahren somit zu einer aus fachlicher Sicht fehlerhaften Ermittlung des Kompensationsumfangs führen.

Verbal-argumentative Bewertungsansätze weisen dem gegenüber naturgemäß mehr individuelle Spielräume auf, setzen jedoch eine intensive Beschäftigung mit dem konkreten Vorhaben und dessen Folgen voraus. Diesen Verfahren wird oft eine gewisse „Subjektivität“ unterstellt. Die Vergleichbarkeit verschiedener Vorhaben oder die Anwendung einheitlicher „Methodenstandards“ wird zudem erschwert.

Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen

Der Bau und Betrieb von PV-FFA führt regelmäßig zu Verlusten bzw. unvermeidbaren Beeinträchtigungen von Arten und Biotopen, die kompensiert werden müssen. Dem gegenüber steht eine mögliche Aufwertung bestimmter Lebensraumfunktionen, etwa wenn intensiv genutzte Ackerflächen in eine extensive Grünlandnutzung überführt werden.

Für den Solarpark Markstetten hat POWROCZNIK (2005) beispielhaft eine Flächenbilanz erstellt. Demnach ist das Betriebsgelände (ohne die am Rande liegenden Wirtschaftsgebäude und Stellplätze) durch die folgenden Flächenanteile charakterisiert:

- *Mesophiles Grünland (Grünland im Kernschatten der Module) rd. 33 %*
- *Trocken-/Halbtrockenrasen¹⁴ (Grünland außerhalb der Kernschatten der Module) rd. 67%.*

Unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die gesamte Fläche vorher einer intensiven landwirtschaftlichen Nutzung unterlag, ist von einer deutlichen Aufwertung der Lebensraumfunktion für viele Tier- und Pflanzenarten auszugehen, die die geringfügigen Versiegelungen vermutlich mehr als kompensiert. Inwieweit auch andere

¹⁴ Dieser Einschätzung kann allerdings nicht gefolgt werden, da die ehemaligen Ackerflächen schon aufgrund der Nährstoffsituation nicht den gängigen Kartierkriterien von Trocken- bzw. Halbtrockenrasen entsprechen; vielmehr handelt es sich hier um verschieden strukturierte mesophile Grünlandstandorte, die aber unstrittig einen deutlich höheren ökologischen Wert aufweisen als die Ackerflächen.



Lebensraumfunktionen (z.B. als Vogelrast- oder –brutgebiet) betroffen waren, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

Dieses Beispiel zeigt, dass zumindest bei PV-FFA-Planungen auf Intensivackerflächen nach den derzeitigen Bewertungsstandards die positiven Auswirkungen auf den Arten- und Biotopschutz (und auch auf abiotische Schutzgüter wie Boden, Wasser und Klima) überwiegen können. Ein Kompensationsbedarf für vorhabensbedingte „erhebliche Beeinträchtigungen des Naturhaushaltes“ ist in solchen Fällen aus Sicht des Naturhaushalts kaum zu begründen. Anders zu bewerten sind jedoch Flächen, bei denen *zusätzlich* weitere spezifische Lebensraumfunktionen (z.B. bedeutende Rastvogellebensräume, bedeutende Brutvogelvorkommen, wertvoller Vegetationsbestand) durch die Planung betroffen werden können. In diesen Fällen sollten die potenziell betroffenen Werte und Funktionen gezielt untersucht und bewertet werden. Erhebliche Beeinträchtigungen sind durch geeignete Maßnahmen (vgl. Kap. 9.1.3) zu kompensieren.

Aus in der Regel pragmatischen Gründen (z.B. Flächenverfügbarkeit) werden von Seiten der Investoren in der Regel Kompensationsflächen im räumlichen Zusammenhang mit dem Betriebsgelände bevorzugt. Dies ist im Grundsatz nachvollziehbar und oft auch fachlich vertretbar. Der vom Gesetzgeber im Rahmen der Eingriffsregelung verlangte Ausgleich von Werten und Funktionen kann jedoch durchaus eine Kompensation auf externen Flächen erforderlich machen, da Kompensationsflächen für beeinträchtigte Lebensraumfunktionen naturgemäß nicht innerhalb des Wirkraumes des für die zu kompensierende Beeinträchtigung verantwortlichen Wirkfaktors liegen können.

Bsp: Eine Beeinträchtigung von aus fachlicher Sicht wertvollen Brutvögeln des Offenlandes durch die Silhouettenwirkung der PV-Module kann nicht durch eine Kompensationsfläche auf dem Betriebsgelände im Nahbereich der Module ausgeglichen werden, auch wenn diese extensiviert wird und damit ggf. andere Arten fördert.

Gleiches gilt z.B. für den großflächigen Entzug von Rast- und Äsungsgebieten für nordische Gänse. Eine Kompensation wäre in diesen Fällen z.B. durch die Herstellung geeigneter Bruthabitate außerhalb der Wirkzone des Vorhabens oder aber, im Falle der Gänse, z.B. durch die zusätzliche Bereitstellung geeigneter störungsarmer Flächen (z.B. durch Verzicht auf Vergrämung oder Jagd) möglich.

In vielen Bundesländern wurden eigene methodische Ansätze zur Ermittlung des Kompensationsbedarfs (z.B. im Rahmen von Leitfäden, Erlassen) erarbeitet. Diese Regelungen, die meist durch pauschalisierende Ansätze zu einer Vereinfachung des Verfahrens führen sollen, sind bei Genehmigungsplanungen entsprechend zu berücksichtigen. Aus fachlichen und rechtlichen Erwägungen ist in der Regel der o.g. Bezug zwischen der Beeinträchtigung einer Funktion und dem geplanten Ausgleich bzw. Ersatz herzustellen. Die in den einzelnen Bundesländern etablierten Verfahren lassen diesbezügliche Spielräume zu, die vom Investor, Planer und den Genehmigungsbehörden in Bezug auf die Systematik der Eingriffsregelung sinnvoll genutzt werden können. Fachliche

Ansätze bei der Kompensationsermittlung, die sich stärker an den beeinträchtigten Werten und Funktionen des Naturhaushaltes ausrichten, sind in der Regel zu bevorzugen.

Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes

Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes sind durch eine geeignete Standortwahl sowie geeignete Abpflanzungen in der Regel weitgehend vermeidbar. Aufgabe der naturschutzrechtlichen Eingriffsregelung sollte es daher in erster Linie sein, eine effiziente Vermeidung von Landschaftsbildbeeinträchtigungen sicherzustellen, hierzu gehört im Zweifelsfall auch eine Überprüfung der durchgeführten Maßnahmen. Bei einer geeigneten landschaftsgerechten Neugestaltung des Landschaftsbildes durch Gehölzpflanzungen kann auch dann von einem vollständigen Ausgleich ausgegangen werden, wenn infolge der Neugestaltung die Wirkungen des Eingriffsvorhabens selbst in den Hintergrund treten und die Landschaft nicht dominieren oder prägen. Dem Ausgleich steht dabei nicht entgegen, dass eine Veränderung des Landschaftsbildes optisch wahrnehmbar bleibt (vgl. [38], S. 170 f).

Eine funktionale Kompensation unvermeidbarer Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch Ersatzmaßnahmen ist ansonsten allenfalls in Ausnahmefällen etwa durch den Rückbau anderer (technischer) Landschaftsbildbeeinträchtigungen oder die Wiederherstellung eines ursprünglichen Landschaftsbildes durch landschaftspflegerische Maßnahmen an anderer Stelle möglich. Die Möglichkeit solcher Maßnahmen ist jeweils im Einzelfall unter den gegebenen landschaftlichen Umständen zu prüfen. Ziel sollte dabei jedoch ausschließlich die Wiederherstellung der Eigenart, der landschaftstypischen Vielfalt oder Naturnähe und damit der Schönheit des Landschaftsbildes sein, nicht jedoch allein die Erhöhung der Vielfalt durch die undifferenzierte Anlage von neuen Landschaftselementen.

Ähnlich wie bei der Behandlung von Windkraftanlagen in der Eingriffsregelung (z.B. entsprechende Erlasse vieler Bundesländer) kann dann auch eine Kompensation nicht ausgleichbarer Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durch eine Ausgleichszahlung erfolgen. Die Höhe der Zahlung kann nachvollziehbar durch ein mehrstufiges Verfahren hergeleitet werden:

- als Grundlage ist zunächst eine Ermittlung der Teilräume mit tatsächlichen Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes erforderlich;
- in diesen Räumen ist dann eine Bewertung der *Landschaftsbildqualität* sowie eine Bewertung der *Beeinträchtigungsintensität* erforderlich,
- aus denen sich anschließend die erforderliche *Kompensationszahlung* ableiten lässt.

9.2 Effizienzkontrollen und Monitoring

Die überwiegende Mehrheit der PV-FFA wird im Rahmen einer Bauleitplanung genehmigt. Gem. Punkt 3 (b) der Anlage zu § 2 Abs. 4 und § 2a BauGB ist die planende Gemeinde verpflichtet, im Umweltbericht zu der Bauleitplanung eine „Beschreibung der geplanten Maßnahmen zur Überwachung der erheblichen Auswirkungen der Durchführung des Bauleitplans auf die Umwelt“ darzustellen. Diese „Monitoringverpflichtung“ ist vom



Gesetzgeber nicht näher spezifiziert worden und die derzeit vorherrschende Rechtsauffassung ist, dass sich hieraus keine weitreichende Verpflichtung zur Überwachung der Umweltqualität durch die Gemeinde ableiten lässt.

Die Prüfung der Effizienz von Vermeidungsmaßnahmen oder der durchgeführten Kompensationsmaßnahmen kann für eine Gemeinde dennoch von Bedeutung sein, um Fakten für die in der Öffentlichkeit z.T. kontrovers diskutierte Projekte zu sammeln. Zu nennen sind hier z.B.

- die Überprüfung des Erfolgs von Eingrünungsmaßnahmen (Sichtschutz),
- das Emissionsverhalten in Bezug auf Anwohner oder Naherholungssuchende,
- die Entwicklung der Vegetation auf den Flächen,
- die Einbindung der PV-FFA in die Landschaft,
- gezielte Nachuntersuchungen bei speziellen Schutzobjekten (z.B. Vorkommen seltener Arten in der Nachbarschaft).

Inhaltlich davon abzutrennen sind die grundsätzlichen (wissenschaftlichen) Kenntnislücken zur Wirkung bestimmter Wirkfaktoren von PV-FFA auf einzelne Schutzgüter.

Diese Grundsatzfragen können in der Regel weder im Rahmen einzelner Genehmigungsverfahren geklärt werden noch ist die notwendige Forschung einzelnen Antragstellern aufzubürden. Wünschenswert wäre hier eine übergreifende Bearbeitung im Rahmen von Forschungsaufträgen, die unter Umständen anteilig von den Projektträgern bzw. den entsprechenden Interessensvertretungen oder Dachverbänden mitfinanziert werden könnten.

Insbesondere bezüglich der mittel- bis langfristigen Entwicklung der als PV-FFA genutzten Freiflächen fehlen derzeit Grundlagenuntersuchungen. Einige offene Fragen zur Thematik Arten- und Biotopschutz bzw. Landschaftsbild sind in Kap. 10 zusammengestellt.

9.3 Hinweise zum Rückbau und Entsorgung

Die PV-FFA sind in der Regel für den in § 12 EEG fixierten Förderzeitraum (20 Kalenderjahre zzgl. des Jahrs der Inbetriebnahme) projektiert. In den meisten Fällen wurden keine verbindlichen Festsetzungen über die Nachnutzung getroffen. Es ist nicht auszuschließen, dass die PV-FFA nach Ablauf dieser Zeit auch ohne die vom EEG gesicherte Vergütung wirtschaftlich weiter betrieben werden können, etwa bei bis dahin stark gestiegenen Strompreisen.

Grundsätzlich muss nach heutigem Kenntnisstand davon ausgegangen werden, dass die verwendeten Rohstoffe (v.a. Siliziumverbindungen der Module, Metall, Kupferkabel) auch nach Ablauf der Nutzung einen Restwert aufweisen, der die Rückbaukosten übersteigt [8], so dass der Rückbau der Anlagen schon aus rein wirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist. Bei Dünnschicht-Modulen sind aufgrund der relativ geringen Mengen an Halbleitermaterial keine lohnenswerten Recyclingerlöse zu erwarten. Durch die umweltbelastenden Inhaltsstoffe der



Dünnschichtmodule, insbesondere der Metallverbindungen (Cadmium, Tellur, Selen, Kupfer), ist eine rückstandsfreie Entsorgung nach Ablauf der Nutzungszeit zwingend notwendig. Der Rückbau der oberirdischen Teile von PV-FFA ist aus technischer Sicht weitgehend unproblematisch und dürfte in der Regel nicht zu erheblichen nachhaltigen Beeinträchtigungen der Umwelt führen.

Bei in den Boden eingelassenen Betonfundamenten ist dagegen der Einsatz schwerer Baumaschinen vermutlich unvermeidbar. Die Entfernung der großen Mengen an Kabeln im Erdreich ist ebenfalls mit starken Eingriffen in den Boden und die dort befindlichen Lebensräume verbunden, da hierfür in den meisten Fällen eine offene Bauweise notwendig sein dürfte. Verlegetechniken, die ein einfaches Herausziehen der Kabel nach Nutzungsende ermöglichen, sind derzeit offenbar nicht wirtschaftlich realisierbar [9].

Je nach Entwicklung der Flächen sind mit der Kabelentfernung verschieden starke Konflikte für den Naturhaushalt verbunden. Ein Belassen der Kabel in der Erde ist jedoch ebenfalls kritisch zu sehen, da erhebliche Mengen an Schwermetallen und Kunststoffen dauerhaft im Boden verbleiben würden.

Aus rein naturschutzfachlicher Sicht sind derzeit keine zwingenden Gründe zu nennen, die gegen einen Weiterbetrieb nach Ablauf der EEG-Förderungsphase der PV-FFA sprechen. Insbesondere kann die dann erreichte naturschutzfachliche Wertigkeit der Flächen im Betriebsgelände derzeit nicht beurteilt werden. Über den Abbau sowie die Methodik und Bauabläufe des Abbaus kann daher kurz vor Ablauf der Betriebsphase entschieden werden, um ggf. gebietsspezifische, zielorientierte Lösungsansätze entwickeln zu können.

Die im Rahmen der Betriebseinrichtung geschaffenen Ausgleichsflächen oder Gehölzpflanzungen sollten auch nach Nutzungsende grundsätzlich Bestandsschutz erhalten.

Hinsichtlich etwaiger Biotopentwicklungen auf der Fläche (z.B. Entwicklung eines geschützten Biotoptyps wie Trockenrasen) ist entsprechend der rechtlichen Vorschriften zu verfahren. Hierbei sind die gesetzlichen Regelungen der Bundesländer bzw. die Auflagen der Betriebsgenehmigung zu beachten.

10 Kenntnislücken und Forschungsbedarf

Aufgrund der noch geringen Erfahrung mit dem Vorhabentyp PV-FFA sind einige Fragen derzeit nicht abschließend zu klären. Diese Kenntnislücken in Bezug auf die Qualität und Quantität oder auch der Auswirkung einzelner Wirkfaktoren werden im Folgenden kurz dargestellt.

10.1 Zukunft der PV-Freiflächenanlagen in Deutschland

Die Stromerzeugung aus der Solarenergie hat in den vergangenen Jahren einen enormen Zuwachs erlebt, auch wenn der Beitrag an der gesamten Energieerzeugung nach wie vor sehr gering ist. Die Ursachen für diese deutlichen Zuwächse sind fast ausschließlich politischer Natur. Durch das EEG, insbesondere dessen Novellierung 2004, wurden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen geschaffen. Daraus folgt, dass die Zukunft dieser erneuerbaren Energie extrem von den gesetzlichen Rahmenbedingungen, insbesondere den Vergütungskriterien und der Vergütungshöhe, abhängt. Veränderungen dieser Rahmenbedingungen (z.B. im Rahmen der anstehenden Überprüfung des EEG) können weitreichende Auswirkungen auf die Zukunft der PV-FFA in Deutschland haben.

Ein weiterer Aspekt ist die Entwicklung des Modulmarktes. Die Novelle des EEG hat in Verbindung mit ähnlichen Gesetzen in anderen europäischen Staaten zu einer enorm verstärkten Nachfrage nach PV-Modulen geführt, die einen deutlichen Anstieg des Marktpreises für PV-Module zur Folge hatte, vor allem aufgrund der weltweiten Knappheit an Rohstoffen und Herstellungskapazitäten. Parallel wurde durch Änderungen des Steuerrechts die Renditeerwartung reduziert. Hierdurch wurde das dynamische Wachstum insbesondere der PV-FFA stark gebremst.

Durch neue Technologien (z.B. Verwendung von Nicht-Silizium-Halbleitern) und die deutlichen Ausweitungen der Herstellungskapazitäten ist nun ein gegenläufiger Trend zu erwarten, dessen Auswirkungen auf den Markt der PV-FFA derzeit nicht abgeschätzt werden können. So kann auch ein starker Anstieg des Flächenbedarfs für PV-FFA nicht sicher ausgeschlossen werden, wenn z.B. die Modulpreise kurzfristig deutlich gesenkt werden und gleichzeitig die gesetzlichen Rahmenbedingungen (insbesondere die Vergütungshöhe und –auflagen des EEG) unverändert bleiben. In Regionen mit besonders günstiger Einstrahlung ist dann vor allem eine erhöhte Nachfrage nach Ackerflächen zu erwarten, da diese in der Regel relativ kurzfristig beplanbar sind.

Die regionale Häufung von PV-Freiflächenanlagen kann dann u. U. zur Kumulation von vorhabensbedingten Umweltwirkungen (z.B. Lebensraumzug für Ackerbrüter, Rastvögel oder großflächige Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes) führen.

10.2 Technische Weiterentwicklung

Die technische Entwicklung und Forschung im Bereich der Photovoltaik verläuft nach wie vor sehr dynamisch. Daher ist in den nächsten Jahren mit zahlreichen technischen Weiterentwicklungen zu rechnen, die Auswirkungen auf die Umwelt haben können. Wünschenswert wäre v.a. die Optimierung bezüglich der als konfliktrichtig benannten Wirkfaktoren. Beispielsweise zu nennen sind hier:



- Materialeigenschaften der Module (Reflexionsverhalten, Recycling-Eignung, Gefährdungspotenzial/Toxizität verwendeter Materialien);
- Minimierung der überschirmten Fläche durch Effizienzsteigerung der Module;
- Materialeigenschaften der Trägersysteme (z.B. Höhe, Materialeigenschaften, Recycling-Eignung);
- schonende Bauverfahren (z.B. bodenschonende Kabelverlegungsverfahren);
- Innovative Verfahren zum Schutz vor Diebstahl oder Vandalismus.

10.3 Wirkungsprognosen zu einzelnen Wirkfaktoren

Einige der im Rahmen dieses Vorhabens zusammengestellten Wirkfaktoren können derzeit nicht ausreichend qualitativ beschrieben bzw. nicht quantifiziert werden. Die folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht. Grundsätzlich gilt, dass die Kenntnisse über die mittel- bis langfristigen Umweltwirkungen von PV-FFA derzeit noch gering sind, d.h., dass auch bei den im Folgenden nicht explizit genannten Wirkfaktoren nicht sicher auszuschließen ist, dass neue Erkenntnisse im Rahmen des laufenden Betriebs bestehender Anlagen Änderungen der naturschutzfachlichen Beurteilung notwendig machen.

10.3.1 Kenntnislücken zu Wirkfaktoren

Bestimmung der Polarisation und des Spektralverhalten des von PV-Modulen reflektierten Lichtes

Kenntnislücken sind festzustellen bezüglich des Reflexionsverhalten (insbesondere der Wellenlängen, Polarisationswinkel) der PV-Module. Hier sollten Messungen verschiedener Modultypen (z.B. mittels Videopolarimetrie) durchgeführt werden und in Bezug zu natürlichen Lebensräumen (v.a. Wasseroberflächen) gesetzt werden.

10.3.2 Kenntnislücken zur Wirkung bestimmter Wirkfaktoren auf einzelne Schutzgüter

Lockwirkung der Module auf Tiere

Insbesondere durch die Reflexion von Licht sind derzeit Verwechslungen der PV-Module mit Wasserflächen durch einige Tierarten nicht auszuschließen. Diese Problematik sollte in weiteren Untersuchungen grundsätzlich vertieft werden, jedoch nicht unbedingt im Rahmen der Zulassung einzelner Vorhaben. Dabei sollten die folgenden Aspekte beachtet werden:

- die Stichprobenzahl für PV-Module und Referenzflächen sollte erhöht werden, um die Ergebnisse statistisch auswerten zu können,
- die Fangzeiträume sollten insgesamt ausgedehnt werden. Die einzelnen Fangperioden sollten dagegen verkürzt und auf optimale Witterungsverhältnisse beschränkt werden,
- als weitere Methode sollte an stärker geneigten Modulen im unteren Bereich eine Fangrinne angebracht werden, um möglicherweise nach dem Anflug abprallende Tiere (z.B. größere Käfer) nachzuweisen.



- Einzelne Module sollten möglichst direkt mit Leim bestrichen oder direkt beobachtet werden, um den möglichen Effekt der Fangfolie auszuschalten.
- Es sollte auch andere Modultypen, Naturräume und Umland-Biotoptypen untersucht werden.
- Vielversprechend wäre es, mit einzelnen Arten (z.B. Wasserkäfern) aus Zuchten direkte Test bezüglich ihrer Reaktion auf die Module zu machen (z.B. im Labor).

Für nachziehende Vogelarten mit Gewässerbezug (z.B. See- und Lappentaucher) sind Lockwirkungen derzeit nicht sicher auszuschließen, wenn auch wenig wahrscheinlich. Gezielte Geländeuntersuchungen zur Klärung dieser Frage sind aufgrund der sehr geringen Eintrittswahrscheinlichkeit von Kollisionen o.ä. jedoch nicht sinnvoll. Diesbezügliche Beobachtungen oder Hinweise müssen aber sorgfältig dokumentiert werden.

Mindestabstände zu PV-Modulen von Rast- und Brutvögeln im Offenland

Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass zahlreiche Vogelarten die Flächen in PV-FFA als Jagd-, Nahrungs- oder Brutgebiet nutzen können. Hierzu zählen auch einige für die Offenlandschaft typische Arten wie die Feldlerche. Dennoch sind insbesondere für typische Wiesenvögel wie z.B. Großer Brachvogel, Uferschnepfe, Rotschenkel und auch Kiebitz Reaktionen auf die „Silhouetten“ der Anlagen zu erwarten. Gleiches gilt für die in Ackerlandschaften z.T. in großen Zahlen rastenden Zugvögel wie z.B. nordische Gänsearten (v.a. Grau-, Bless-, Saat-, und Nonnengänse), Zwerg- und Singschwäne, Kraniche, Kiebitze oder vor allem in Küstenlandschaften auch Goldregenpfeifer.

Hier sollten an geeigneten Standorten gezielte Untersuchungen zum Meidungsverhalten, z.B. durch Einhalten von Mindestabständen zu den Modulen, durchgeführt werden, um den Lebensraumzug quantifizieren und die Auswirkungen fachlich beurteilen zu können. Dabei sind auch Effekte durch die Einzäunung und ggf. Sichtschutzpflanzungen (beide wirken ebenfalls als Silhouette) zu berücksichtigen.

Langfristige Entwicklung der Vegetation und der Lebensgemeinschaften

Derzeit ist noch keine PV-FFA lange genug in Betrieb, um die mittel- bis langfristige Entwicklung der Flächen dokumentieren zu können. Die Kenntnis des „Biotopwerts“ von PV-FFA ist nicht zuletzt auch für die Ermittlung der Eingriffsintensität bzw. die Ableitung der Kompensationshöhe von Bedeutung. Regelmäßige Untersuchungen der Betriebsflächen oder repräsentativer Teilbereiche (Monitoring) könnten hier zu einer Verbesserung der Wissenslage beitragen. Aufgrund der Vielzahl standörtlicher Besonderheiten und verschiedener Pflegenutzungen sollten mehrere für diesen Vorhabentyp *repräsentative* Standorte mit vergleichbarer Verfahrensweise bearbeitet werden.

Wartungsbedarf der PV-FFA

Aufgrund des geringen Alters der bisher realisierten PV-FFA liegen noch keine belastbaren Erfahrungen zum Wartungsbedarf (z.B. Reparaturen, Austausch von Bauteilen etc.) vor. Derartige Wartungsarbeiten könnten insofern von Umweltrelevanz sein, als sie z.B. zu Schädigung der Vegetation (durch Fahrzeuge oder notwendige Erdarbeiten) oder Störung



von Tierlebensräumen führen könnten. Insgesamt wird jedoch von einem sehr geringen Wartungsbedarf ausgegangen. Inwiefern auch ein „Repowering“ (Austausch der vorhandenen durch leistungsfähigere Module aus wirtschaftlichen Gründen) in Frage kommt, kann derzeit nicht beantwortet werden.

Reinigungen der Module (Entfernung von Schmutz auf der Oberfläche) zur Effizienzsicherung sind unseres Wissens nach nicht geplant. Falls dies notwendig würde, sind stoffliche Einträge (z.B. Zusätze in der Reinigungsflüssigkeit) nicht auszuschließen.

Auswirkungen von PV-FFA auf das Landschaftsbild bei besonderen Reliefverhältnissen

Im Rahmen der Untersuchungen wurde nur eine geringe Anzahl von Anlagen erfasst. Dabei konnte u.a. nicht der Fall berücksichtigt werden, dass bei Beobachtungspunkten auf hohen Einzelerhebungen großflächige Anlagen in vorgelagerten Ebenen wesentlich größere Wirkreichweiten aufweisen können, die u.a. auch nur schwer durch Abpflanzungen zu vermeiden sind. Hier wären weitere Analysen zur Beurteilung der Auswirkungen wünschenswert.

Wenn reliefbedingt keine Vermeidung erheblicher Beeinträchtigungen oder Neugestaltung des Landschaftsbildes möglich ist, sind nur noch Kompensationsmaßnahmen an anderer Stelle oder aber ein monetärer Ausgleich denkbar. Verbindliche fachliche Maßstäbe für eine Bemessung dieser Kompensation fehlen derzeit.

11 Zusammenfassung

Vorbemerkung

Die folgende Zusammenfassung gibt einen kurzen Überblick über die Inhalte und Ergebnisse des vorliegenden Abschlussberichts. Aufgrund der für eine Zusammenfassung gebotenen Kürze sind einige komplexe Sachverhalte verkürzt und ohne ausreichenden Kontext dargestellt. Die Zusammenfassung ist somit nicht als eigenständige Textfassung konzipiert und sollte auch nicht so verwendet werden.

Hintergrund und Zielsetzung des F+E-Vorhabens

Mit der Fortschreibung des EEG im Jahr 2004 wurde die Nutzung der Photovoltaik auch auf großen Freiflächen wirtschaftlich möglich. Neben den gesetzlichen Vorgaben zu Vergütungssätzen wurden im EEG auch Vorgaben zur Nutzung von Freiflächen getroffen. Für eine Vergütung geeignete Flächen sind demnach bereits versiegelte Flächen, militärische oder wirtschaftliche Konversionsflächen sowie Grünflächen mit Vornutzung Acker. Für diese Flächen muss entweder ein Bebauungsplan (Zulassung gemäß § 30 BauGB) bestehen oder ein Planfeststellungsverfahren (Zulassung gemäß § 38 BauGB) durchgeführt worden sein. Da es sich bei den PV-Freiflächenanlagen (PV-FFA) um einen relativ neuen Vorhabentypen handelt, bestehen hinsichtlich der naturschutzfachlichen Einschätzung der Umweltwirkungen deutliche Defizite. Auch sind Wissensdefizite bezüglich der Herleitung geeigneter Vermeidungs-, Minderungs- und Kompensationsmaßnahmen festzustellen. Um den Stand des Wissens zu verbessern, wurde hierzu vom BfN im August 2005 ein Forschungsvorhaben an die GFN mbH Kiel vergeben.

Als vorrangige Projektziele des hier vorgestellten F+E-Vorhabens sind zu nennen:

- Analyse der Auswirkungen von PV-FFA auf Naturhaushalt und Landschaftsbild anhand von Praxisuntersuchungen,
- Erarbeitung von fachlichen Grundlagen für die Bewertung der Umweltwirkungen, Evaluierung von durchgeführten Vermeidungs-, Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen an Praxisbeispielen,
- Ableitung von Vorschlägen für geeignete Vermeidungs-, Minimierungs- und Kompensationsmaßnahmen,
- Erarbeitung von Vorschlägen für geeignete Methoden (z.B. Bestandserfassungen von Arten) im Rahmen von Genehmigungsverfahren,
- Aufzeigen verbleibender Kenntnislücken und weiteren Forschungsbedarfs.

Die durchgeführten Erhebungen können nur einen *ersten Überblick* über mögliche und tatsächliche Auswirkungen auf Naturhaushalt und Landschaftsbild geben. Es handelt sich somit nicht um ein Vorhaben zum Monitoring der Umweltwirkungen.

In diesem Vorhaben stehen Praxisuntersuchungen zu den Umweltwirkungen von PV-FFA im Vordergrund, wobei eine Beschränkung auf Arten und Biotope sowie das Landschaftsbild erfolgte. Das Vorhaben soll damit ein parallel laufendes Vorhaben des BMU (PV-MONITORINGVORHABEN, vgl. [5]-[10]) inhaltlich ergänzen und konkretisieren.



Vorgehensweise

An insgesamt sechs ausgewählten PV-FFA wurden gezielte Erfassungen von zuvor festgelegten Artengruppen sowie eine Beschreibung und Bewertung der vorhabensbedingten Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes durchgeführt. Untersucht wurden

- Dokumentation der Vegetation (Artenzusammensetzung, Wuchshöhe und -dichte der Vegetation) unter und neben den Modulen an 4 Standorten, Dokumentation der Einflüsse des Nutzungsregimes (z.B. Beweidung, Mahd);
- Je 2 Erfassungen der Groß- und Mittelsäuger im Herbst (Scheinwerfertextation) in 3 PV-Parks und angrenzenden Flächen; Schneespurenanalyse, Befragungen, Zufallsbeobachtungen bei sonstigen Geländearbeiten;
- Regelmäßige Planbeobachtungen der Raumnutzung von Vögeln im Park und in der Nachbarschaft inkl. Beobachtung ziehender Vögel, Brutvogelkartierung (3 PV-FFA, jeweils rd. 14 Termine);
- Raumnutzung ausgewählter Wirbellosengruppen in PV-FFA: Erfassung der kleinräumigen Verteilung von Heuschrecken (als Indikatorart für wärmeliebende Tiergruppen) an 3 Standorten auf Teilflächen, Zufallsbeobachtungen an anderen Wirbellosengruppen (z.B. auf den Modulen sich sonnende Fluginsekten);
- Attraktionswirkung der Module für Wasserinsekten: Einsatz von Klebefolien auf Modulen und Modulattrappen an einem Standort über längere Fangzeiträume (Untersuchung der Attraktionswirkung von PV-Modulen);
- Beschreibung und Bewertung des Landschaftsbildes (z.B. Veränderungen der Eigenart, Reichweite der Wahrnehmung mit Ableitung von Wirkzonen) von mehreren Standorten im Umfeld von 3 PV-Anlagen.

Parallel wurde die zugängliche Fachliteratur bezüglich weiterer Wirkfaktoren ausgewertet, wobei die Recherche auch auf hinsichtlich einiger Wirkfaktoren vergleichbare Vorhabentypen (z.B. Gewächshäuser) bzw. Umweltsituationen (z.B. nasse Fahrbahnen) erweitert wurde.

Auswirkungen von PV-FFA auf die untersuchten Schutzgüter

Auswirkungen auf Pflanzen und deren Lebensräume

- Das Konfliktpotenzial für Pflanzen und Lebensräume hängt maßgeblich von der Wertigkeit der in Anspruch genommenen Flächen ab. Bei hochwertigen Beständen (z.B. Trockenrasengesellschaften auf militärischen Konversionsflächen) sind vor allem mögliche Konflikte durch die Bautätigkeit (Bodenumlagerung, -verdichtung), die Flächeninanspruchnahme (Versiegelung), die Beschattung sowie durch die Überschilderung von Flächen (Veränderung der Niederschlagsmenge unter den Modulen) von Bedeutung.
- Vor allem auf zuvor intensiv genutzten Ackerflächen sind durch die Umwandlung in (meist extensiv genutztes) Grünland deutliche Aufwertungen der Lebensraumfunktion für Pflanzen zu erwarten.



- Bei ausreichendem Abstand der Module zum Boden (z.B. > 80 cm) ist der Streulichteinfall auch in dauerhaft verschatteten Bereichen für die Entwicklung einer durchgängigen Vegetationsdecke ausreichend.

Auswirkungen auf Mittel- und Großsäuger

- Derzeit liegen keine Hinweise auf eine Meidung von PV-FFA z.B. aufgrund einer Scheuchwirkung z.B. durch die heimischen Wildarten vor. Baubedingte Störungen können jedoch zu einer zeitweisen Meidung führen.
- Die Vegetationsentwicklung und das Fehlen von mechanischer Bodenbearbeitung führt zu einer Aufwertung der Lebensraumfunktion für Kleinsäuger, die wiederum eine Nahrungsgrundlage für viele Beutegreifer darstellen.
- Die aus versicherungstechnischen Gründen meist notwendige Abzäunung des Betriebsgeländes kann unter Umständen zu deutlichen Habitatverlusten oder – zerschneidungen für größere Tierarten führen.
- Eine Bewertung der Auswirkungen für seltene Säugetiere der Agrarlandschaft (v.a. Feldhamster) ist derzeit nicht möglich.

Auswirkungen auf Vögel

- Das Kollisionsrisiko von Vögeln mit den PV-Modulen (z.B. aufgrund einer Verwechslung mit Wasserflächen) wird als insgesamt gering eingeschätzt, obgleich unter besonders ungünstigen Umweltbedingungen einzelne Fälle nicht auszuschließen sind. Als empfindlich sind hier vor allem nachts ziehende schlechte Flieger wie z.B. See- und Lappentaucher oder Alken einzustufen.
- Starke Blendwirkungen durch Lichtreflexionen und hierdurch bedingte Irritationen z.B. beim Zug sind aufgrund der Lichtstreuung bzw. Lichtabsorptionseigenschaften der Module offenbar ebenfalls von geringer Relevanz.
- Durch Flächeninanspruchnahme, die veränderte Nutzung der Vegetation und auch durch Silhouetteneffekte sind jedoch Habitatverluste oder Minderung des Habitatwerts auch in angrenzenden Flächen für Offenlandnutzende Vögel (z.B. Wiesenvögel, rastende Gänse oder Kraniche) zu erwarten. Konkrete Ergebnisse (z.B. Reichweite der Wirkung, Mindestabstände) konnten im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nicht erbracht werden.
- PV-FFA können bei entsprechender Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte für viele Vogelarten aber auch zu einer Aufwertung der Habitateignung führen, wobei das verbesserte Angebot an Niststrukturen (z.B. Holzgestelle der Modulträgersysteme) oder Nahrung (z.B. Sämereien der Hochstaudenfluren, Kleinsäuger) hervorzuheben ist. Eine Bewertung kann somit nur standortspezifisch erfolgen.



Auswirkungen auf Wirbellose

- Für wärme- oder sonnenliebende Arten (z.B. Heuschrecken) erfolgt durch die Beschattung eine Strukturierung bzw. Differenzierung des Lebensraumes, wobei in vielen Aktivitätsphasen die unbeschatteten Flächen bevorzugt werden.
- Die (meist extensive) Grünlandnutzung auf ehemaligen Ackerflächen kann bei Berücksichtigung naturschutzfachlicher Aspekte zu einer deutlichen Aufwertung für viele Wirbelosengruppen z.B. durch die Erhöhung des Blütenangebots bzw. der strukturellen Vielfalt führen, die auch gefährdeten Arten zugute kommt.
- Die Erwärmung der Module (im Extrem auf über 60° C) kann unter Umständen zu Verletzungen oder Tötung von darauf befindlichen Kleintieren führen. Aufgrund der zeitverzögerten Aufheizung und des anzunehmenden frühzeitigen Erkennens der hohen Temperaturen bei Annäherung und der Fluchtmöglichkeit dürfte das Konfliktpotenzial aber gering sein.
- Das Reflexionsverhalten der Module, insbesondere die Reflexion von horizontal polarisiertem Licht, ist ähnlich dem von Wasseroberflächen. Viele Insektenarten (insbesondere flugfähige Arten, die in bestimmten Lebensphasen Wasserflächen aufsuchen) nutzen die Polarisierungsebene des Lichts zur Auffindung von Gewässern. Die eigenen Untersuchungen konnten – trotz auftretender methodischer Probleme und Kenntnislücken bezüglich der Interpretation und Bewertung der Ergebnisse – diesen theoretisch abgeleiteten Verdacht erhärten. Aufgrund der Komplexität dieses Sachverhaltes sind weitere Untersuchungen dieses Themenbereiches (vor allem auch zur Qualität des reflektierten Lichtes verschiedener Modultypen) dringend anzuraten.

Auswirkungen auf das Landschaftsbild

- In der Landschaft sichtbare PV-FFA führen zu einer Veränderung des Landschaftsbildes. Da es sich bei den Anlagen um *landschaftsfremde* Objekte handelt, ist regelmäßig von einer Beeinträchtigung des Landschaftsbildes auszugehen, auch wenn Einzelne den Anblick eines Solarparks aufgrund persönlicher Einstellungen (z.B. Befürwortung des Einsatzes von Erneuerbaren Energien) auch als positiv empfinden können.
- Als Ergebnis der Praxisuntersuchungen ist festzustellen, dass vor allem die folgenden Faktoren zur Wirksamkeit von PV-FFA im Landschaftsbild beitragen:
 - die Erkennbarkeit von auffälligen Einzelobjekten, wobei neben dem Landschaftsrelief vor allem die Größe bzw. Höhe der Module von Bedeutung ist,
 - die Sichtbarkeit einzelner Anlagenteile; hier sind z.B. auffällige Lichtreflexe durch reflektierende Anlagenteile (Moduloberflächen, metallische Konstruktionselemente) zu nennen;
 - die Größe der Anlage im Blickfeld eines Betrachters unter Berücksichtigung von Sichtverschattungen z.B. durch Gehölze oder Bodenerhebungen;
 - die Lage zur Horizontlinie;



- Vorbelastungen durch andere anthropogene Landschaftselemente (z.B. Gebäude, Funkmasten, Hochspannungsleitungen).

Vermeidung und ggf. Kompensation erheblicher Beeinträchtigungen

Eine Fallanalyse der Planungspraxis deutet darauf hin, dass die Genehmigungen von PV-FFA antragsbezogen, d.h. ohne Prüfung von Standortalternativen, erteilt und die Kompensationsmaßnahmen im Rahmen der Eingriffs-/Ausgleichsregelung oft pauschal, d.h. kaum auf die spezifischen Beeinträchtigungen des konkreten Vorhabens bezogen, durchgeführt werden. Vorhabensspezifische Wirkungsprognosen fehlen oft.

Im Rahmen des Vorhabens wurden gezielte Vorschläge für Maßnahmen zur Vermeidung und ggf. Kompensation unvermeidbarer erheblicher Beeinträchtigungen erarbeitet und dargestellt.

- Bezüglich der Konfliktvermeidung wird der auch an naturschutzfachlichen Kriterien angepassten Standortauswahl höchste Priorität zugemessen.
- Für viele Schutzgüter können erhebliche Beeinträchtigungen oft durch relativ einfache Maßnahmen vermieden oder vermindert werden. Insbesondere Beeinträchtigungen des Landschaftsbildes können meist durch Abpflanzung (Sichtverschattung) vermieden werden.
- Für verbleibende Beeinträchtigungen wird die Erstellung von fachlich qualifizierten Wirkungsprognosen für beeinträchtigte Werte und Funktionen des Naturhaushaltes gefordert. Diese sind auch als Grundlage für die Ableitung gezielter Vermeidungs- oder Kompensationsmaßnahmen unerlässlich.
- Die in vielen Fällen erfolgte Aufwertung der Lebensraumfunktion z.B. durch die Umwandlung von Acker in Grünland ist bei der Bewertung des Kompensationsbedarfs zu berücksichtigen. Pauschale Ansätze sind hier meist wenig geeignet, da die Vorhaben aufgrund sehr unterschiedlicher technischer Parameter (z.B. Flächengröße, Modultyp, Art der Aufständigung) bzw. naturräumlicher Ausstattung eine individuelle Betrachtung erfordern.

Kenntnislücken und Forschungsbedarf

Aufgrund der noch geringen Erfahrung mit dem Vorhabentyp PV-FFA sind einige Fragen derzeit nicht abschließend zu klären. Hierbei handelt es sich v.a. um

- die Zukunft der PV-FFA in Deutschland und der daraus resultierende Flächenbedarf (starke Abhängigkeit von politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen);
- die technische Weiterentwicklung, hier insbesondere
 - die Materialeigenschaften der Module (Reflexionsverhalten, Recycling-Eignung, Gefährdungspotenzial/Toxizität verwendeter Materialien);
 - die Minimierung der überschirmten Fläche durch Effizienzsteigerung der Module;
 - die Materialeigenschaften der Trägersysteme (z.B. Höhe, Materialeigenschaften, Recycling-Eignung);



- die Entwicklung innovativer Verfahren zum Schutz vor Diebstahl oder Vandalismus;
- die Weiterentwicklung schonender Bauverfahren (z.B. bodenschonende Kabelverlegungsverfahren);
- Kenntnislücken zur Beschreibung oder Quantifizierung einzelner Wirkfaktoren, z.B.
 - Charakterisierung des Reflexionsverhalten der Module (Polarisierung des Lichts);
- Kenntnislücken zur Beurteilung der (langfristigen) Wirkung einzelner Wirkfaktoren, insbesondere zur
 - Lockwirkung der Module auf einzelne Tiergruppen (z.B. durch polarisiertes Licht),
 - Meideverhalten von Offenlandnutzern wie Wiesenvögel oder rastende Gänse).

PV-FFA erfordern aufgrund ihrer individuellen Charakteristik (z.B. bezüglich Modultyp, Vornutzung, vorhandener Artenvorkommen vor der Nutzung, Nutzungsregime vor und nach der PV-Nutzung) stets eine individuelle Betrachtung. Verallgemeinernde Aussagen zu den einzelnen Umweltwirkungen sind nur eingeschränkt möglich. Die vorliegenden Ergebnisse können für die Planung und Beurteilung dieser Vorhaben wichtige Anregungen geben.

12 Summary

Background and objectives

In 2004 a revision of the Renewable Energy Resources Act (EEG = ERNEUERBARE ENERGIEN GESETZ) was enacted. Inter alia, the additional costs of generation of energy from solar radiation by large ground-mounted solar plants could be refunded and therefore this type of energy production became economical. Since then a large number of projects have been developed and by the beginning of 2006 more than one hundred solar parks with sizes varying between a few up to 70 hectares had already been finished, mainly in the southern part of Germany.

In order to minimize conflicts with regards to the environment (e.g. species and landscape protection), the use of open areas has been regulated by the EEG. If the installation is not attached to or integrated on top of a building structure the grid system operator shall only be obliged to pay fees if the installation was commissioned

1. within the scope of application of a LOCAL DEVELOPMENT PLAN within the meaning of Article 30 of the FEDERAL BUILDING CODE (BAUGB) or,
2. on a site for which a procedure in accordance with Article 38 first sentence of the FEDERAL BUILDING CODE (BAUGB) was carried out.

Furthermore, installations should be located on

- plots of land which were already sealed when the LOCAL DEVELOPMENT PLAN was adopted,
- land converted from industrial or military use or,
- on green areas designated for the construction of this installation in the LOCAL DEVELOPMENT PLAN and used as cropland before.

Since the use of large areas for *ground-mounted solar plants* is a fairly recent phenomenon the environmental impact as well as the efficiency of the regulation has been insufficiently evaluated. Aiming to improve the current status of information the FEDERAL AGENCY FOR NATURE CONSERVATION (BfN) has granted a research project to GFN mbH in August 2005.

This project is focussed on practical aspects (e.g. field work, literature review) of environmental impacts of ground-mounted solar plants. Its main objectives are

- to analyse the impact on species and biotopes as well as on characteristic landscapes (appearance of countryside),
- to develop scientific criteria for the evaluation of environmental impacts,
- to develop criteria for mitigation and compensation measures,
- to suggest appropriate field methods for compiling information within the scope of legal authorization,
- to indicate existing knowledge gaps concerning impact assessment and describe further research demands.



Methods

In a total of 6 solar plants data on selected species were recorded. Furthermore, the degree of detracting of the landscape caused by the solar plants was described and evaluated. In particular the following criteria were taken into account:

- state of vegetation (effects of shadow and different land use),
- habitat use of medium and large sized mammals (effect of fencing, avoidance behaviour),
- habitat use of birds (breeding and resting birds),
- reactions and movements of approaching migrating birds;
- habitat use of selected invertebrates, e.g. small-scale distribution of locusts (*Saltatoria*),
- attraction of water insects caused by possible resemblance between modules and water surfaces (method: use of adhesive films attached to the module surface),
- changes of landscape (appearance of countryside after project realisation).

In addition, the accessible scientific literature dealing with comparable types of impacts was intensively assessed.

Impacts of Ground-mounted Solar Plants on the environment

Due to the highly individual character of each project (e.g. type and size of modules, landscape characteristics, plant and animal communities) general approaches or methods for the impact assessment of solar plants seem to be unsuitable.

The transformation of formerly intensively used croplands into extensively used green areas may lead to a considerable improvement of habitats, especially for many plant and invertebrate species.

However, especially with regards to habitats of sensitive species, the following aspects can cause conflicts to species and habitats:

- construction work (ground sealing and compression, traffic noise),
- change of habitat due to shading and coverage by modules,
- fencing of the site due to insurance requirements (loss of habitat, segmentation and isolation of large species habitats),
- modified land use (changes in vegetation structure),
- visual effects like silhouettes of the modules or reflection of light which could possibly lead to a devaluation of habitats in neighbouring areas for open-land bird communities (e.g. meadow birds, resting geese and cranes),
- reflection of horizontally polarized light which resembles that of water surfaces (possible attraction of water insects).



Regarding the changes in the appearance of landscape the following parameters are considered to be of major importance:

- size and height of modules,
- visibility of different construction elements (e.g. metallic parts with strong reflection of light),
- restriction of long-distance visibility by viewpoint shading (e.g. bushes and trees or the landscape relief),
- preloading of the landscape with other anthropogenic structures like buildings, electrical power lines or windmills.

Mitigation and compensation of impacts

In this project suggestions were made for suitable mitigation and compensation measures to avoid significant environmental impacts.

The degree of conflict is greatly determined by the environmental value of the designated project areas and, consequently, conflicts can be significantly reduced by a careful choice of location.

Many conflicts can be easily minimised by fairly simple measures, in particular the devaluation of landscape appearance could be strongly reduced by planting hedgerows or bushes to minimise the visibility of the solar plant. It is also very important to consider the distribution of sensitive species or landscape components in the project area and to consequently optimise the planning according to this framework.

Knowledge gaps and need for further research

Due to inadequate experiences with this type of land use a number of questions can currently not be sufficiently answered. Among them are

- future market performance and coverage of this type of energy production,
- future technical developments, especially
 - features of the module types (e.g. reflection rate of surface, reusability and toxicity of used materials),
 - development of innovative prevention methods against theft or vandalism instead of fencing,
 - development of construction methods with less impact on soil and ground surface;
- knowledge gaps concerning the long-term effects of single impacts, especially with regards to the presumed attraction for water insects or the degree of habitat devaluation or avoidance behaviour of open-land bird communities.



13 Danksagung

Zum Gelingen dieses Vorhabens haben verschiedene externe Personen bzw. Institutionen maßgeblich beigetragen. Insbesondere bedanken wir uns bei:

- der Projektbegleitenden Arbeitsgruppe für fruchtbare Diskussionen und Anregungen,
- der ARGE MONITORING PV-ANLAGEN, hier insbesondere Herrn Dr. D. Günnewig von der BOSCH & PARTNER GMBH, für die gute Zusammenarbeit, die Diskussionen bestimmter fachlicher Aspekte und die zeitnahe Bereitstellung von Informationen aus dem parallel laufenden F+E-Vorhaben,
- den Betreibern der PV-FFA für die Zustimmung zur Durchführung von Geländeuntersuchungen und die Bereitstellung von Hintergrundinformationen:
 - Herrn R. HAHN, *Bürgersolarpark Neuenmarkt II (insbesondere auch für die Zustimmung zu den Folienversuchen)*;
 - Herrn Dipl. Ing. B. BROER, *Solarwald Kleinwulkow*;
 - SAG-SOLARSTROM AG: *Solarpark Arnstein/Erlasee*.
 - VOLTWERK AG: *Solarparks Hemau und Markstetten*;
 - DSF BAVARIA SOLAR GMBH & Co. KG: *Solarpark Mühlhausen*;

Für die stets angenehme und produktive Zusammenarbeit bedanken wir uns bei den für unser Vorhaben zuständigen Bearbeitern im BfN, Frau K. Ammermann und Herrn F. Igel (fachliche Projektbetreuung) sowie Herrn C. Fechtel (Finanzen).



14 Quellenverzeichnis

Urheberrechte verwendeter Kartengrundlagen

- Topografische Karten: VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER UND BKG (2003)
- Sonstige Geofachdaten: LANIS, BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BfN), Stand: 2003-2005

Literatur

- [1] ABT, K.F & SCHULTZ, G. (1995): Auswirkungen der Lichtemissionen einer Großgewächshausanlage auf den nächtlichen Vogelzug. Corax 16: 17-29.
- [2] AGFHA-Arbeitsgemeinschaft Feldhamsterschutz – Homepage (www.feldhamster.de)
- [3] ANGUS, R. (1992): Insecta, Coleoptera, Hydrophilidae, Helophorinae. Süßwasserfauna von Mitteleuropa 20/10-2. Gustav-Fischer-Verlag, Stuttgart.
- [4] ARGE EINGRIFF-AUSGLEICH NRW (1995): Entwicklung eines einheitlichen Bewertungsrahmens für straßenbedingte Eingriffe in Natur und Landschaft und deren Kompensation. – Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Stadtentwicklung und Verkehr NRW und des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, 207 S.
- [5] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2005a): Photovoltaikfreiflächen: Aktuelle Erfahrungen und Kriterien. – Workshop-Dokumentation, Bonn 21.-22.3.2005.*
- [6] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2005b): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. 1. Zwischenbericht des F+E-Vorhabens i.A. des BMU, Stand 15.7.2005.*
- [7] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2005c): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. 1. Fachgespräch am 20.9.2005 in Hannover: Standortplanung, Umweltprüfung und Eingriffsregelung im Rahmen des F+E-Vorhabens i.A. des BMU. *
- [8] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2006a): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. 2. Zwischenbericht des F+E-Vorhabens i.A. des BMU, Stand 31.1.2006.*
- [9] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2006b): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. Sachstandsbericht des F+E-Vorhabens i.A. des BMU, Stand 15.7.2006.*
- [10] ARGE MONITORING PV-ANLAGEN (2006c): Monitoring zur Wirkung des novellierten EEG auf die Entwicklung der Stromerzeugung aus Solarenergie, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen. Arbeitsstand zum Planungsleitfaden PV-Freiflächenanlagen (schriftl. Mitteilung).
- [11] BAUER, H.G., BERTHOLD, P., BOYE, P., KNIEF, W., SÜDBECK, P. & WITT, K. (2002): Rote Liste der Brutvögel Deutschlands. 3., überarbeitete Fassung. Berichte zum Vogelschutz 39: 13-60.
- [12] BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (BAYLFU) (2003, Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns. Schriftenreihe des Bay. LfU 166: 1-384.
- [13] BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (2003): Bauen im Einklang mit Natur und Landschaft. Eingriffsregelung in der Bauleitplanung - Ein Leitfaden (Ergänzte Fassung). München.
- [14] BÖHME, J.: Band K – Katalog (Faunistische Übersicht), 2. Auflage. In: FREUDE et al. : Die Käfer Mitteleuropas.. Spektrum-Verlag, Heidelberg/Berlin.
- [15] BÖTTCHER, M. (2001): Auswirkungen von Fremdlicht auf die Fauna im Rahmen von Eingriffen. - Natur und Landschaft. Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz 67: 42-51.
- [16] BRUDERER, B., PETER, D. & T. STEURI. (1999): Behaviour of migrating birds exposed to X-band radar and a bright light beam. J. exp. Biol. 202, 1015-1022.

* alle Berichte im Internet verfügbar unter <http://www.erneuerbare-energien.de>



- [17] BUER, F. & M. REGNER (2002): Mit "Spinnennetz-Effekt" und UV-Absorbern gegen den Vogeltod an transparenten und spiegelnden Scheiben. - Vogel und Umwelt 13: 31-41.
- [18] BUNDESAMT FÜR NATURSCHUTZ (BFN) (1998, Hrsg.): Rote Liste gefährdeter Tiere Deutschlands. Schriftenr. f. Landschaftspflege und Naturschutz 55: 1-434.
- [19] BUNZEL-DÜKE, M. & K. H. SCHULZE-SCHWEFE (1994): Windkraftanlagen und Vogelschutz im Binnenland. – Natur und Landschaft (69): Heft 3, S. 100-103.
- [20] BVERWG-BUNDESVERWALTUNGSGERICHT (2006): Urteil des 9. Senats vom 21.Juni 2006 (BVerWG 9 A 28.05) zum Neubau der Ortsumgehung Stralsund (B105/B96).
- [21] CENTROSOLAR GLAS GmbH & Co. KG: Internetpräsentation www.centrosolarglas.de.
- [22] CRAWFORD, R. L. & ENGSTROM, R. T. (2001). Characteristics of avian mortality at a north Florida television tower: a 29-year study. - Journal of Field Ornithology 72, 380-388.
- [23] EHRLINGER, M. (1995): Untersuchung der kleinräumigen Wanderung von Heidegrashüpfern (*Stenobothrus lineatus*) zwischen unterschiedlich exponierten Halbtrockenrasen. Artenschutzreport 5: 11-15.
- [24] ENGELS, K. (1995): Einwirkungen von Photovoltaikanlagen auf die Vegetation am Beispiel Kobern-Gondorf und Neurather See. – Unveröff. Dipl. Arbeit an der Ruhr-Universität Bochum.
- [25] ERICKSON, W., JOHNSON, G., YOUNG, D., STRICKLAND, D., GOOD, R., BOURASSA, M., BAY, K. & SERNKA, K. J. (2002). Synthesis and comparison of baseline avian and bat use, raptor nesting and mortality information from proposed and existing wind developments. - Report for Bonneville Power Administration, Portland, Oregon. 60 S.
- [26] EUGH - EUROPÄISCHER GERICHTSHOF (2006): Urteil des Gerichtshofes (Zweite Kammer) vom 10.1.2006 Rs C-98/03 gegen die Bundesrepublik Deutschland.
- [27] FREUDE, H., HARDE, K.W., LOHSE, G.A., KLAUSNITZER, B. (1976-2004): Die Käfer Mitteleuropas. Verschiedene Bände.
- [28] FRIEDRICH, M. (Regionaler Planungsverband Westsachsen - Regionale Planungsstelle (2004): Regionalplanerische Beurteilung von Vorhaben zur großflächigen Nutzung solarer Strahlungsenergie im Freiraum Westsachsen, Leipzig.
- [29] GUNTER, K.H. & G. SCHNEBEL (1972): Aus der Vogelwelt der Lüneburger Heide. – Spezieller Teil: Sterntaucher (S.19). Becker Verlag, Uelzen.
- [30] HÄBERLIN, H. & C. RENKEN (2003): Langzeitverhalten von Photovoltaikanlagen (Vortragsmanuskript). – 18. Symposium Photovoltaische Solarenergie, März 2003. Staffelstein, Deutschland.
- [31] HAEUPLER, H. & MUER, T. (2000): Bildatlas der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands. Ulmer, Stuttgart.
- [32] HORMANN, M. (2001): Vogelschutz und Landnutzung- Landwirtschaft. In: RICHAZ, K., BEZZEL, E. HORMANN, M. (Hrsg.): Taschenbuch für Vogelschutz. Aula-Verlag.
- [33] HORVATH, G. & D. VARJÚ (1997): Polarization pattern of freshwater habitats recorded by video polarimetry in red, green and blue spectral ranges and its relevance for water detection by aquatic insects.
- [34] HORVÁTH, G. & D. VARJÚ (2004): Polarized Light in Animal Vision. Springer Verlag.
- [35] HORVATH, G. (1995): Reflection-polarization patterns at flat water surfaces and their relevance for insect polarization vision. J. Theor. Biol. 175(1): 27-37.
- [36] HÖTKER, H., THOMSEN, K. M. & H. KÖSTER (2004) : Auswirkungen regenerativer Energiegewinnung auf die biologische Vielfalt am Beispiel der Vögel und der Fledermäuse. Abschlussbericht des gleichlautenden Forschungsvorhabens des MICHAEL-OTTO-INSTITUTS im NABU im Auftrag des BfN. 80 S.
- [37] JESSEL, B. & B. KULER (2006): Naturschutzfachliche Beurteilung von Freilandphotovoltaikanlagen – Analysen und Vorschläge am Beispiel Brandenburg. – Naturschutz und Landschaftsplanung 38 (7): 225-232.
- [38] JESSEL, B., FISCHER-HÜFTLE, P., JENNY, D. & A. ZSCHALICH (2003): Erarbeitung von Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen für Beeinträchtigungen des Landschaftsbilds. - Angew. Landschaftsökologie, Heft 53. Bonn - Bad-Godesberg.



- [39] KÖHLER, B. & PREISS, A. (2000): Erfassung und Bewertung des Landschaftsbilds. Informationsdienst Niedersachsen, Heft 1/2000
- [40] KOLLIGS, D. & A. MIETH (2001): Die Auswirkungen kleinflächiger und großflächiger Lichtquellen auf Insekten. –Schriftenr. Landschaftspflege Naturschutz (67): 53-66.
- [41] KRATSCH, D. (2003): Solarenergie – ein Problem für die Landschaft? - Naturschutz-Info 3/2003, S. 51-53.
- [42] KRISKA, G., CSABAI, Z., BODA, P., MALIK, P. & HORVATH, G. (2006): Why do red and dark-colored cars lure aquatic insects? The attraction of water insects to car paintwork explained by reflection-polarization signals. Proc. Biol. Sci 273: 1667-1671.
- [43] KUSENBACH, J. (2005): Auswirkungen von Windenergieanlagen auf Fledermäuse.- Landschaftspflege und Naturschutz in Thüringen 42. Jahrg., Heft 2: 56-61.
- [44] Leidl, G. (1997): Landschaftsbilderfassung und –bewertung in der Landschaftsplanung – dargestellt am Beispiel des Landschaftsplanes Breitung-Wernshausen. Natur und Landschaft, 72. Jg., Heft 6, S. 282-290.
- [45] MACAN, T.T. (1976): A revised key to the British water bugs. Freshwater Biological Association. Scientific Publication 16: 1-78.
- [46] MARQUARDT, DR. DR. K. H., Institut für Wirtschaftsökologie (2004): Ökologische Wirkungen von großen Photovoltaik-Freiflächenanlagen, Vortrag zur XIII. internationalen Naturschutztagung „Zoologischer und botanischer Artenschutz in Mitteleuropa“, Bad Blankenburg.
- [47] MCCRARY, M., MCKERNAN, R.L., SCHREIBER, R.W., WAGNER, W.D. & T.C. SCIARROTTA (1986): Avian mortality at a solar energy power plant.- J. Field Ornithol. 57(2): 135-141.
- [48] MENZEL, C. (2001): Raumnutzung ausgewählter heimischer Niederwildarten im Bereich von Windkraftanlagen. - Unveröff. Gutachten der Tierärztlichen Hochschule Hannover, Institut für Wildtierforschung i. A. der Landesjägerschaft Niedersachsen e.V. (LJN).
- [49] MÜLLER-MOTZFELD, G. (Hrsg., 2004): Bd 2 Adephaga 1: Carabidae, Laufkäfer. 2. Auflage. In: FREUDE et al. : Die Käfer Mitteleuropas.. Spektrum-Verlag, Heidelberg/Berlin.
- [50] NOHL, W. (1993): Beeinträchtigung des Landschaftsbilds durch mastartige Eingriffe. Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen
- [51] POWROCZNIC, S. (2004): Umweltverträglichkeitsprüfung von Solaranlagen. Unveröff. Studienarbeit an der FH Erfurth. 33 S.
- [52] POWROCZNIC, S. (2005): Die Umweltprüfung für zentrale Photovoltaikanlagen – Entwicklung eines methodischen Leitfadens. Unveröff. Diplomarbeit an der FH Erfurth (L01/L) an der FH Erfurth. 133 S.
- [53] RASSMUS, J., HERDEN, C., JENSEN, I., RECK, H. & SCHÖPS, K. (2003): Methodische Anforderungen an Wirkungsprognosen in der Eingriffsregelung. Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 898 82 024 des Bundesamtes für Naturschutz. 2003, Angewandte Landschaftsökologie.- 298 Seiten.
- [54] RECK, H., HERDEN, C., RASSMUS, J. & R. WALTER (2001): Die Beurteilung von Lärmwirkungen auf frei lebende Tierarten und die Qualität ihrer Lebensräume - Grundlagen und Konventionsvorschläge für die Regelung von Eingriffen nach § 8 BNatSchG. angew. Landschaftsökologie 44 :125-151.
- [55] ROLL, E., WALTER, B., HAUKE, C. & K. SOMMERLATTE K. (2005): Umwelt-Leitfaden zur eisenbahnrechtlichen Planfeststellung und Plangenehmigung sowie für Magnetschwebbahnen – 5. Fassung. Eisenbahnbundesamt.[www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/23_Umwelt-Leitfaden Teil 1.pdf](http://www.eisenbahn-bundesamt.de/Service/files/23_Umwelt-Leitfaden_Teil_1.pdf)
- [56] SCHWARZ, R. (2004): Großflächige Solar- und Photovoltaikanlagen in der freien Landschaft – Hinweise für die bau- und bauplanungsrechtliche Behandlung, Standortfragen und weitere damit zusammenhängende Fragestellungen, Regierungspräsidium Freiburg
- [57] SCHWEIZERISCHE VOGELWARTE SEMPACH & SCHWEIZER VOGELSCHUTZ SVS – BIRDLIFE SCHWEIZ: MERKBLÄTTER FÜR DIE VOGELSCHUTZPRAXIS: Vogelkiller Glas. Internetpublikation <http://infonet.vogelwarte.ch/home.php?siteLoad=vug&siteAction=mer&hkg=11&nkg=51&lang=de>
- [58] SCHWEIZERISCHE VOGELWARTE SEMPACH UND SCHWEIZER VOGELSCHUTZ SVS – BIRDLIFE SCHWEIZ, SEMPACH UND ZÜRICH - MERKBLÄTTER FÜR DIE VOGELSCHUTZPRAXIS: Spiegelfechter Internetpublikation. <http://infonet.vogelwarte.ch/home.php?siteLoad=pmv&siteAction=mer&hkg=26&nkg=69&lang=de>.



- [59] SCHWIND, R. (1991): Polarization vision in water insects and insects living on a moist substrate. *J. Comp. Physiol. A* 169: 531-540.
- [60] SCHWIND, R. (1995): Spectral regions in which aquatic insects see reflected polarized light. *J. Comp. Physiol.* 177: 439-448.
- [61] STATISTISCHES BUNDESAMT (2006: Onlineabfrage unter http://www.destatis.de/themen/d/thm_land.php
- [62] STEINBORN, H. & B. HEYDEMANN (1990): Indikatoren und Kriterien zur Beurteilung der ökologischen Wertigkeit von Agrarflächen am Beispiel der Carabidae (Laufkäfer); In: RIECKEN, U. :Möglichkeiten und Grenzen der Bioindikation durch Tierarten und Tiergruppen im Rahmen raumrelevanter Planungen. – Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 32: 165-174. Bonn-Bad Godesberg.
- [63] STICHEL, W. (1925-1938): Illustrierte Bestimmungstabellen der deutschen Wanzen. verlag naturwiss. Publikationen. Berlin.
- [64] SÜDBECK, P., ANDRETTZKE, H., FISCHER, S., GEDEON, K., SCHIKORE, T., SCHRÖDER, K. & C. SUDFELDT (Hrsg.; 2005): Methodenstandards zur Erfassung der Brutvögel Deutschlands. Radolfzell.
- [65] TEGGERS-JUNGE, S. (2004): Schattendasein und Flächenversiegelung durch Photovoltaikanlagen ? – Unveröff. Bericht der RWE Energie AG. 4 S.
- [66] TRAPP, J. L. (1998): Bird kills at towers and other human-made structures: an annotated partial Bibliography (1960-1998). - U.S. Fish and Wildlife Service.
- [67] UVS & NABU (2005): Kriterien für naturverträgliche Photovoltaikfreiflächenanlagen. Broschüre 3 S.*
- [68] VOIGTLÄNDER, U., SCHELLER, W. & C. MARTIN (2001): Ursachen für die Unterschiede im biologischen Inventar der Agrarlandschaften in Ost- und Westdeutschland. – Ergebnisse aus dem F+E-Vorhaben 808 02005 des BfN. *Angew. Landschaftsökologie* 40. Bonn-Bad Godesberg.
- [69] WACHMANN, E. (1989): Wanzen – beobachten – kennenlernen. Neumann-Neudamm. Melsungen.
- [70] WAGNER, E. (1961): Die Tierwelt Mitteleuropas, IV. Band: Heteroptera- Hemiptera, Lief. 3 (Heft Xa). Quelle & Meyer, Leipzig.

15 Anhang

15.1 Karten



Karte 1: Geografische Lage der Untersuchungsgebiete

15.2 Tabellen

Tabelle 24: Übersicht Begehungstermine

Stand: 10.06.06

lfd. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12	13	14
Vorbegehungen mit Beibeobachtungen													
Neuenmarkt I	26.08.2005												
Neuenmarkt II	26.08.2005												
Markstetten	14.09.2005												
Mühlhausen	14.09.2005												
Reussenköge	28.2.2006	keine weiteren Begehungen vorgesehen											
Wirbellose													
Hemau	14.09.2005	18.09.2005											
Neuenmarkt II	06.09.2005	21.09.2005											
Markstetten	19.09.2005	keine weiteren Begehungen vorgesehen											
Pflanzen													
Hemau	14.09.2005												
Neuenmarkt II	21.09.2005												
Markstetten	19.09.2005												
Arnstein/Erlasee (zusätzlich)	03.10.2005	keine weiteren Begehungen vorgesehen											
Vögel													
Hemau	14.09.2005	04.10.2005	21.10.2005	26.11.2005	21.12.2005	28.01.2006	18.02.2006	05.03.2006	16.03.06	01.04.06	15.04.06	13.05.06	03.06.06.
Mühlhausen	19.09.2005	08.10.2005	20.10.2005	27.11.2005	22.12.2005	27.01.2006	17.08.2006	04.03.2006	17.03.06	31.03.06	14.04.06	12.05.06	04.06.06
Arnstein/Erlasee	08.09.2005	03.10.2005	30.10.2005	25.11.2005	20.12.2005	29.01.2006	19.02.2006	06.03.2006	19.03.06	02.04.06	16.04.06	14.05.06	05.06.06
Säuger													
Hemau	13.09.2005	03.10.2005											
Arnstein/Erlasee	02.10.2005	29.10.2005											
Kleinwulkow	25.1.2006	keine weiteren Begehungen vorgesehen											
Landschaftsbild													
Markstetten, Mühlhausen, Arnstein/Erlasee	26.-27.4.2006		keine weiteren Begehungen vorgesehen										

Tabelle 25: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Erlasee

Beobachtungshäufigkeiten (keine Individuenzahlen) innerhalb der PV-Anlage

Zeitraum: 8. September 2005 bis 5. Juni 2006

Standort Erlasee	Rote Liste D	Rote Liste BY	Status	Auf Modulen		Unter Modulen		Neben Modulen		Überfliegend		
				Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	< 10 m	< 50 m	> 50 m
Amsel			N								1	
Bachstelze			N, vBv	4				3		2	4	
Baumpieper	V	3	vBv	1				1				
Blaumeise			N				1	1			2	
Buchfink			N	3		1	4	1		1	5	
Eichelhäher			N							5	6	
Elster			N							1	2	
Fasan			N, vBv					1				
Feldlerche	V	3	Bv			2		6		8	9	1
Feldsperling	V	V	N	2			2					
Gebirgstelze			N	1						2	1	
Goldammer		V	Bv	15	1	2	8	6	1	2	7	
Graureiher		V	N						1			
Grünfink			N				1					
Grünspecht	V	V	-								1	
Habicht		3	N								2	
Hänfling	V	3	vBv	12		4	6	5		1	7	
Hausrotschwanz			Bv	8	1	1		2	1		1	
Kohlmeise			N, vBv	3	1		1		1	1	4	
Kuckuck	V	V	-								1	
Mäusebussard			N	6				2		2	3	
Misteldrossel			N					1				
Rabenkrähe			N	1						7	2	
Ringeltaube			N							3	2	1
Star			N	1						4	11	
Stieglitz			N							1		
Stockente			-							1	1	
Turmfalke			N	1						1	4	
Turteltaube	V	V	vBv					1				
Wacholderdrossel			N	1							4	
Häufigkeiten (30 Arten)	7	10		14	3	5	7	12	4	16	22	2

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),

Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste. Status: vBv - Brutvogel,

vvBv- vermutlicher Brutvogel, N - Nahrungsgast, Dz - Durchzügler, Wg = Wintergast,

keine Angabe - nur überfliegend, ohne Bezug zur Fläche

Tabelle 26: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Erlasee

Beobachtungshäufigkeiten (keine Individuenzahlen) außerhalb der PV-Anlage

Zeitraum: 8. September 2005 bis 5. Juni 2006

Standort Erlasee	Rote Liste		Offenland		Gehölze		sonst. Strukt.			Abstand zum Park				
	D	BY	Rast	Nahrungssuche überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche überfliegend	50 m v	50 m - 200 m >	> 200 m			
Amsel					6				4	4	2			
Bachstelze				1					1					
Baumpieper	V	3			3				3	1	1			
Blaumeise					9	7	1		11	1				
Buchfink			1	1	8	2			8	4	1			
Buntspecht					5	2			1	4				
Dorngrasmücke					1				1					
Eichelhäher				2	4	1	3		6	3				
Elster				1	1	1	1		3	1				
Feldlerche	V	3	3	2	4				5	5				
Feldsperling	V	V			2	1			1	2	1			
Gartenbaumläufer					1				1					
Gartengrasmücke					2				2					
Gartenrotschwanz	V	3			1				1					
Goldammer		V	1	2	3	11	2	1	12	5				
Grauspecht	V	3			3				1	1	1			
Grünfink				1	6	2			4	2				
Grünspecht	V	V			4				2	2	2			
Hänfling			1	2					2	1				
Hausrotschwanz							2		1	1				
Haussperling	V				1				1					
Heckenbraunelle					1					1				
Hohltaube		V			1						1			
Kernbeisser					1				1					
Klappergrasmücke		V							1					
Kleiber					3	1			3					
Kleinspecht		V			1	1			1					
Kohlmeise					19	11	2	1	18	4	1			
Kolkrabe						1					1			
Kuckuck	V	V			2					1	2			
Mäusebussard			3	4	3	2			6	4	1			
Misteldrossel					1				1					
Mönchsgrasmücke					2				2		1			
Pirol	V	V			2				1	1				
Rabenkrähe			3	2	3	4	3		8	5				
Rebhuhn	2	3		1						1				
Ringeltaube				1	1	7	2		4	7	2			
Rotkehlchen											1			
Schafstelze		3	1	1		1			2					
Schwarzspecht		V			1	2			2					
Singdrossel					2					2				
Star					5	1	2	1	3	3	1			
Stieglitz					1	1			2					
Stockente								1		1				
Sumpfmeise					1				1					
Turmfalke				3	2	1			3	2	1			
Turteltaube	V	3			1				1					
Wacholderdrossel					1				1					
Wachtel		3	1							1				
Waldlaubsänger									1					
Weidenmeise									1					
Wintergoldhähnchen					1				1					
Zaunkönig					2				1	1				
Zilpzalp					3				3	2				
Häufigkeiten (54 Arten)	11	17	7	11	11	42	11	9	4	1	1	45	30	16

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),
Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste

Tabelle 27: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Hemau

Beobachtungshäufigkeiten (keine Individuenzahlen) innerhalb der PV-Anlage

Zeitraum: 8. September 2005 bis 5. Juni 2006

Standort Hemau	Rote Liste D	Rote Liste BY	Status	Auf Modulen		Unter Modulen		Neben Modulen		Überfliegend		
				Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	< 10 m	< 50 m	> 50 m
Amsel			N								3	
Bachstelze			Bv	10		5	5	10		1	13	
Blaumeise			N, vBv	1				1				
Buchfink			N, vBv	5		2	2	3			3	
Eichelhäher			N	1						1	1	
Goldammer			Bv	6		3	6	13			6	
Graureiher			N					1		2		
Grünspecht	V	V	N	1						1	1	
Hausrotschwanz			Bv	15		3	4	8			1	
Kohlmeise			N, vBv	3				6			3	
Kormoran	V	V	-									1
Lachmöwe			-							2		1
Mäusebussard			N							2	2	1
Mehlschwalbe	V	V	N							1	2	
Misteldrossel			N, vBv				1	1			1	
Rabenkrähe			N							1		3
Rauchschwalbe	V	V	N					1		1	2	
Ringeltaube			N							1		
Silberreiher			Dz									1
Singdrossel			N, vBv					1				
Sperber			N							1		
Star			N							2		
Stieglitz			N, vBv	1		1	1	1			5	
Stockente			Bv					1				3
Turmfalke			N					1				
Wacholderdrossel			Bv	3				3			1	
Zilpzalp			N, vBv					1				
Häufigkeiten (27 Arten)	4	4		10	0	5	6	15	0	12	14	6

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),
Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste. Status: vBv - Brutvogel,
vBv- vermutlicher Brutvogel, N - Nahrungsgast, Dz - Durchzügler, Wg = Wintergast,
keine Angabe - nur überfliegend, ohne Bezug zur Fläche

Tabelle 28: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Hemau

Beobachtungshäufigkeiten (keine Individuenzahlen) außerhalb der PV-Anlage

Zeitraum: 8. September 2005 bis 5. Juni 2006

Standort Hemau	Rote Liste		Offenland			Gehölze			sonst. Strukt.			Abstand zum Park		
	D	BY	Rast	Nahrungssuche	überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche	überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche	überfliegend	< 50 m	> 50 m - 200 m	> 200 m
Amsel						12	1	1				9	5	1
Bachstelze								1				1		
Baumpieper	V	3				3						2	1	
Blaumeise						6	2					5	2	
Buchfink						9						8	4	1
Buntspecht						2							2	
Eichelhäher					1	6		3				7	4	
Fitis						3						3		
Gartengrasmücke						1						1		
Goldammer		V				4		2	2	2		8		
Graureiher		V						1					1	
Grünspecht	V	V						1				1		
Haubenmeise						1						1		
Hausrotschwanz						1			3	1		4		
Kernbeisser						1							1	
Kleiber						4						1	3	
Kohlmeise						20	7					14	8	
Mäusebussard					1	5	1	4				6	3	
Misteldrossel						1		1					1	
Mönchsgrasmücke						2						2		
Rabenkrähe					1	1	1	4				1	6	
Ringeltaube						1		1				2	1	
Schwarzspecht		V				1								1
Star								1				1		
Stieglitz						1						1		
Stockente								1					1	
Sumpfmeise						3						2	1	
Tannenmeise						1							1	
Wacholderdrossel						2		1				2		
Wintergoldhähnchen						7	5					7	2	
Zilpzalp						2						2		
Häufigkeiten (31 Arten)	2	5	0	0	3	26	6	13	2	2	0	24	18	3

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),

Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste

Tabelle 29: Vogelbeobachtungen innerhalb der PV-FFA Mühlhausen

Beobachtungshäufigkeiten (keine Individuenzahlen) innerhalb der PV-Anlage

Zeitraum: 8. September 2005 bis 5. Juni 2006

Standort Mühlhausen	Rote Liste D	Rote Liste BY	Status	Auf Modulen		Unter Modulen		Neben Modulen		Überfliegend		
				Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	Ansitz	Nahrungssuche	< 10 m	< 50 m	> 50 m
Amsel			N							1	1	
Bachstelze			N	1				1		5	7	
Braunkehlchen	3	2	Dz					1				
Dohle			N	5			1	2		1	5	
Elster			N	5			1			1	6	
Feldlerche	V	3	Bv	4		5	2	9		8	8	2
Feldsperling	V	V	N	4		3	8	8		1	11	
Gänsesäger	3	2	Dz/Wg							1		
Gebirgstelze			-								1	
Goldammer			Bv	7		4	6	13		1	13	
Graureiher			-							1		
Grünfink			vBv			2	2	2			4	
Hänfling	V	3	vBv	3				4		1	2	
Hausrotschwanz			Bv	4				3				
Kiebitz	2	2	-							1		2
Kohlmeise			N								3	
Kormoran	V	V	-							1		
Lachmöwe			-							4	4	
Mäusebussard			N	4				1		1	2	
Misteldrossel			N								1	
Rabenkrähe			N	13		2	1	2		7	17	
Rauchschwalbe	V	V	N							1	3	
Ringeltaube			N							1		
Saatkrähe		V	Wg	2				1			1	
Sperber			N								1	
Star			N	1		1	1			3	1	1
Stieglitz			N					3		2	3	
Stockente			-							8	1	
Turmfalke			N	3				1		1	2	
Wacholderdrossel			N				1	2			5	
Wiesenpieper		V	Dz	1				2			2	
Häufigkeiten (31 Arten)	8	10		14	0	6	9	16	0	21	24	3

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),
Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste. Status: vBv - Brutvogel,
vvBv- vermutlicher Brutvogel, N - Nahrungsgast, Dz - Durchzügler, Wg = Wintergast,
keine Angabe - nur überfliegend, ohne Bezug zur Fläche

Tabelle 30: Vogelbeobachtungen außerhalb der PV-FFA Mülhhausen

Standort Mülhhausen	Offenland			Gehölze			sonst. Strukt.			Abstand zum Park				
	Rote Liste D	Rote Liste BY	Rast	Nahrungssuche	überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche	überfliegend	Ansitz	Nahrungssuche	überfliegend	< 50 m	> 50 m - 200 m	> 200 m
Amsel					2	3						1	2	2
Bachstelze					2							2		
Bergfink						1						1		
Blässlalle									2	2		1		2
Blaumeise						4	4					6		
Buchfink						1						1		1
Dohle				2	1	2		1	3		1	2	3	2
Dorngrasmücke						1							1	
Elster				1	1				1		1	1	1	1
Feldlerche	V	3	3	7	5							6	5	1
Feldsperling	V	V				22	7	3	5	1		19	6	1
Gänsesäger	3	2			1				1			1		1
Gebirgstelze										1	1	1	1	
Gimpel						1						1		
Goldammer		V		1	1	15	2		3	1		16	4	
Graugans			1									1		
Graureiher		V							3				3	
Grünfink			1	1	1	2	1					3		
Grünspecht	V	V				4		1						4
Hänfling	V	3			2	2						2	2	
Haubentaucher									1	2				2
Hausrotschwanz						1			1				2	
Heckenbraunelle						1						1		
Höckerschwan										1			1	
Kernbeisser						1	1					1		
Kleiber						1								1
Kohlmeise					1	5	5					7		1
Kormoran	V	V			2				1	1	1	1	1	4
Lachmöwe				1	2				1		2		5	1
Mäusebussard			1	1	1	1		2	3		2	2	6	
Mehlschwalbe	V	V								1			1	
Rabenkrähe			3	4	7	5		5	6		4	7	13	5
Rauchschwalbe	V	V			1				1		1	1		1
Reiherente									4	1	1		5	1
Ringeltaube					1							1		
Saatkrähe		V				1			2	1	2	2		
Star				2	1				2		1	3	2	1
Stieglitz				2	2	2	2	2	1		2	6	1	
Stockente					4	1			9	1	5	6	7	4
Tafelente									1	1				1
Turmfalke					2	8		3	1			5	4	2
Wacholderdrossel			1	2		4		2			1	5		1
Zilpzalp						1						1		
Häufigkeiten (43 Arten)	8	11	6	11	20	25	7	8	21	11	15	32	22	22

Erläuterungen: Rote Liste Deutschlands (Bauer et al. 2002), Rote Liste Bayern (BayLfU 2003),
Kategorien: 2 - stark gefährdet, 3 - gefährdet, V - Vorwarnliste

Tabelle 31: Florenliste Hemau

Florenliste PV-Freiflächenanlage Hemau

Artnamen wissenschaftlich	deutsch	unter Modulen	zwischen Modulreihen
<i>Achillea millefolium</i> agg.	Wiesen-Schafgarbe		x
<i>Agrostis capillaris</i>	Rotes Straußgras		x
<i>Agrostis stolonifera</i>	Weißes Straußgras		x
<i>Alchemilla vulgaris</i> agg.	Gewöhnlicher Frauenmantel		x
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanzgras	x	
<i>Artemisia dracunculoides</i>	Estragon	x	
<i>Bellis perennis</i>	Gänseblümchen		x
<i>Calluna vulgaris</i>	Heidekraut		x
<i>Campanula patula</i>	Wiesen-Glockenblume		x
<i>Cardamine hirsuta</i>	Behaartes Schaumkraut	x	
<i>Carex muricata</i> agg. (evtl. <i>spicata</i>)	Sparrige Segge		x
<i>Centaurea jacea</i> agg.	Wiesen-Flockenblume		x
<i>Cerastium holosteoides</i>	Gewöhnliches Hornkraut	x	x
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	x	x
<i>Cirsium palustre</i>	Sumpf-Kratzdistel	x	x
<i>Conyza canadensis</i>	Kanadisches Berufkraut	x	x
<i>Crepis capillaris</i>	Kleinköpfiger Pippau	x	x
<i>Daucus carota</i>	Wilde Möhre	x	x
<i>Deschampsia caespitosa</i>	Rasen-Schmiele	x	x
<i>Echium vulgare</i>	Gewöhnlicher Natternkopf		x
<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	x	x
<i>Epilobium hirsutum</i>	Zottiges Weidenröschen	x	
<i>Erigeron annuus</i>	Einjähriger Feinstrahl		x
<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere		x
<i>Galeopsis tetrahit</i>	Gewöhnlicher Holzzahn	x	
<i>Galium album</i>	Großblütiges Wiesen-Labkraut	x	x
<i>Geranium columbinum</i>	Tauben-Storchschnabel	x	x
<i>Geranium robertianum</i>	Ruprechtskraut	x	
<i>Hieracium pilosella</i>	Kleines Habichtskraut		x
<i>Hieracium spec.</i>	Habichtskraut		x
<i>Hypericum perforatum</i> agg.	Tüpfel-Johanniskraut	x	x
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut		x
<i>Juncus conglomeratus</i>	Knäuel-Binse	x	x
<i>Juncus effusus</i>	Flatter-Binse		x
<i>Leucanthemum vulgare</i>	Magerwiesen-Margerite		x
<i>Linaria vulgaris</i>	Gewöhnliches Leinkraut	x	
<i>Lotus corniculatus</i> agg.	Gewöhnlicher Hornklee		x
<i>Mysotis scorpioides</i> ssp. <i>scorpioides</i>	Gewöhnliches Sumpf-Vergissmeinnicht		x
<i>Odontites vulgaris</i>	Roter Zahntrost		x
<i>Picris hieracioides</i>	Gemeines Bitterkraut		x
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitz-Wegerich	x	
<i>Plantago media</i>	Mittlerer Wegerich		x
<i>Poa annua</i>	Einjähriges Rispengras		x
<i>Poa trivialis</i>	Gewöhnliches Rispengras	x	
<i>Populus (hybr.) juv.</i>	Pappel		x
<i>Potentilla anserina</i>	Gänse-Fingerkraut		x
<i>Potentilla erecta</i>	Blutwurz	x	x
<i>Prunella vulgaris</i>	Kleinblütige Braunelle	x	x
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß		x
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß		x
<i>Rubus fruticosus</i> agg.	Brombeere		x
<i>Rumex obtusifolius</i>	Stumpfbblätteriger Ampfer		x
<i>Salix caprea</i> juv.	Salweide	x	x
<i>Salix viminalis</i> juv.	Korbweide	x	x
<i>Satureja hortensis</i>	Sommer-Bohnenkraut	x	
<i>Scrophularia nodosa</i>	Knotige Braunwurz	x	
<i>Senecio viscosus</i>	Klebriges Greiskraut	x	x
<i>Silene flos-cuculi</i>	Kuckucks-Lichtnelke		x

Tabelle 32: Florenliste Markstetten

Florenliste PV-Freiflächenanlage Markstetten

Artnamen wissenschaftlich	deutsch	unter Modulen	zwischen Modulreihen
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchschwanzgras		x
<i>Anagallis arvensis</i>	Acker-Gauchheil		x
<i>Artemisia vulgaris</i>	Gewöhnlicher Beifuß	x	
<i>Bromus racemosus</i>	Traubige Trespe		x
<i>Campanula patula</i>	Wiesen-Glockenblume		x
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	x	x
<i>Convolvulus arvensis</i>	Acker-Winde	x	
<i>Crepis biennis</i>	Wiesen-Pippau	x	x
<i>Daucus carota</i>	Wilde Möhre		x
<i>Elymus repens</i>	Kriech-Quecke		x
<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	x	
<i>Epilobium hirsutum</i>	Zottiges Weidenröschen	x	
<i>Epilobium parviflorum</i>	Kleinblütiges Weidenröschen		x
<i>Hypericum maculatum</i>	Geflecktes Johanniskraut	x	
<i>Hypericum perforatum</i> agg.	Tüpfel-Johanniskraut		x
<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbst-Löwenzahn	x	x
<i>Lolium perenne</i>	Ausdauerndes Weidelgras		x
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	Geruchlose Kamille		x
<i>Odontites vulgaris</i>	Roter Zahntrost		x
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß		x
<i>Ribes rubrum</i>	Rote Johannisbeere	x	
<i>Rubus cf. phoenicolasius</i>	Japanische Weinbeere	x	
<i>Rumex obtusifolius</i>	Stumpfbblätteriger Ampfer	x	x
<i>Salix caprea</i> juv.	Salweide	x	
<i>Senecio viscosus</i>	Klebriges Greiskraut	x	x
<i>Sonchus asper</i>	Rauhe Gänsedistel		x
<i>Sonchus oleraceus</i>	Kohl-Gänsedistel		x
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	Löwenzahn		x
<i>Tragopogon pratensis</i>	Gewöhnlicher Wiesenbocksbart	x	
<i>Urtica dioica</i>	Gewöhnliche Brennnessel	x	

Tabelle 33: Florenliste Neuenmarkt II

Florenliste PV-Freiflächenanlage Neuenmarkt II

Artname wissenschaftlich	deutsch	unter Modulen	zwischen Modulreihen
<i>Achillea millefolium</i>	Wiesen-Schafgarbe		x
<i>Agrostis capillaris</i>	Rotes Straußgras	x	
<i>Alchemilla vulgaris</i> agg.	Gewöhnlicher Frauenmantel		x
<i>Alopecurus myosuroides</i>	Acker-Fuchsschwanzgras	x	
<i>Alopecurus pratensis</i>	Wiesen-Fuchsschwanzgras		x
<i>Arcticum tomentosum</i>	Filzige Klette	x	x
<i>Arrhenatherum elatius</i>	Gewöhnlicher Glatthafer		x
<i>Artemisia vulgaris</i>	Gewöhnlicher Beifuß	x	x
<i>Atriplex tatarica</i>	Tataren-Melde	x	
<i>Bistorta officinalis</i>	Schlangen-Wiesenknöterich		x
<i>Centaurea jacea</i> agg.	Wiesen-Flockenblume		x
<i>Cerastium holosteoides</i>	Gewöhnliches Hornkraut		x
<i>Crepis biennis</i>	Wiesen-Pippau	x	x
<i>Cichorium intybus</i>	Gewöhnliche Wegwarte		x
<i>Cirsium arvense</i>	Acker-Kratzdistel	x	x
<i>Cirsium vulgare</i>	Gewöhnliche Kratzdistel	x	x
<i>Coryza canadensis</i>	Kanadisches Berufkraut		x
<i>Cynosurus cristatus</i>	Wiesen-Kammgras	x	
<i>Daucus carota</i>	Wilde Möhre	x	x
<i>Elymus repens</i>	Kriech-Quecke	x	x
<i>Epilobium ciliatum</i>	Drüsiges Weidenröschen	x	
<i>Epilobium hirsutum</i>	Zottiges Weidenröschen		x
<i>Epilobium tetragonum</i> s.l.	Vierkantiges Weidenröschen	x	x
<i>Erigeron annuus</i>	Einjähriger Feinstrahl	x	
<i>Filipendula ulmaria</i>	Echtes Mädesüß		x
<i>Geum urbanum</i>	Gewöhnliche Nelkenwurz		x
<i>Hypericum maculatum</i>	Geflecktes Johanniskraut		x
<i>Hypochaeris radicata</i>	Gewöhnliches Ferkelkraut		x
<i>Leontodon autumnalis</i>	Herbst-Löwenzahn	x	x
<i>Lepidium campestre</i>	Feld-Kresse	x	
<i>Picris hieracioides</i>	Großblütiges Bitterkraut	x	
<i>Plantago lanceolata</i>	Spitz-Wegerich		x
<i>Phleum pratense</i>	Wiesen-Lieschgras		x
<i>Poa pratensis</i>	Gewöhnliches Wiesen-Rispengras	x	x
<i>Potentilla anserina</i>	Gänse-Fingerkraut		x
<i>Ranunculus acris</i>	Scharfer Hahnenfuß		x
<i>Ranunculus repens</i>	Kriechender Hahnenfuß	x	x
<i>Rumex acetosa</i>	Großer Sauerampfer	x	x
<i>Rumex obtusifolius</i>	Stumpfbliättriger Ampfer		x
<i>Sanguisorba officinalis</i>	Großer Wiesenknopf		x
<i>Sinapis alba</i>	Weißer Senf		x
<i>Solidago canadensis</i>	Kanadische Goldrute	x	x
<i>Solidago gigantea</i>	Späte Goldrute	x	x
<i>Sonchus asper</i>	Rauhe Gänsedistel	x	x
<i>Sonchus arvensis</i>	Gewöhnliche Acker-Gänsedistel	x	
<i>Tanacetum vulgare</i>	Rainfarn	x	x
<i>Taraxacum officinale</i> agg.	Löwenzahn	x	x
<i>Trifolium hybridum</i>	Gewöhnlicher Schwedenklee		x
<i>Trifolium pratense</i>	Wiesen-Klee	x	x
<i>Trifolium repens</i>	Weißklee		x
<i>Tripleurospermum perforatum</i>	Geruchlose Kamille	x	
<i>Tussilago farfara</i>	Huflattich	x	x
<i>Urtica dioica</i>	Gewöhnliche Brennnessel	x	x

